

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки Физика

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Закономерности аннигиляции позитронов в мембране фторсодержащего полимера поливинилиденфторида при облучении ионами гелия

УДК ___539.124.6:678-036.743_____

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ61	Люй Цзиньчжэ		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Лаптев Р.С	к.т.н., ассистент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М.В.	к.экон.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н, профессор		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОЭФ	Лидер А.М.	д.т.н., доцент		

Томск – 2018 г

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по основной образовательной программе высшего профессионального образования,
направление подготовки 03.04.02 Физика,
квалификация - магистр

Код результата	Результат обучения (компетенции выпускника)
P1	Способен самостоятельно приобретать новые знания, использовать современные образовательные и информационные технологии, совершенствовать и развивать свой профессиональный уровень, поддерживать здоровый образ жизни
P2	Способен к поиску, обработке и интерпретации с использованием современных информационных технологий данных, необходимых для формирования суждений по соответствующим социальным, научным и этическим проблемам как в коллективе, так и индивидуально (на родном и иностранном языке)
P3	Способен критически переосмысливать свой накопленный социальный и профессиональный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, следовать этическим и правовым нормам и нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности
Профессиональные компетенции	
P4	Способен к овладению и применению базовых знаний в области естественных наук и математики для решения профессиональных задач, к усвоению основных педагогических моделей, форм и приемов педагогического воздействия на личность; закономерностей педагогического мастерства
P5	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, экспериментальные методы исследования конденсированного состояния вещества, методы анализа поверхности твердых тел и тонких пленок
P6	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, современную электронику в электрофизических и плазменных установках, а также учесть взаимодействие излучения и плазмы с веществом, современные достижения водородной энергетики и плазменных технологий
P7	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, базовые естественнонаучные и математические знания, методы исследования в области профессиональной деятельности, при получении и исследовании материалов атомной промышленности и наноматериалов
P8	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, к применению на практике полученных знаний при обработке, анализе и синтезе полученных физических данных в соответствии с профилем профессиональной деятельности, осуществлять презентацию научной деятельности
P9	Способен понимать и использовать на практике теоретические основы планирования и организации физических исследований, представлять результаты и применять на практике методы управления в сфере природопользования
P10	Способен формировать суждения о значении и последствиях своей профессиональной деятельности с учетом социальных, правовых, этических и природоохранных аспектов, при необходимости применить ресурсо- и энергосберегающие технологии

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Группа	ФИО
ОБМ61	Люй Цзиньчжэ

Студенту:

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение	Экспериментальной физики
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Физика

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Стоимость материалов. 2. Амортизационное отчисление оборудования. 3. Зарботная плата руководителя проекта. 4. Зарботная плата исполнителей проекта
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	1. Нормы рабочего времени, выполнения проекта
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1. Ставка налога отчисления во внебюджетные фонды. 2. Процент дополнительной заработной платы.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Оценка конкурентоспособности проекта. 2. Планирование работ в течении осуществления проекта.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Планирование и расчет бюджета научной-исследовательской работы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1. Определение эффективности и перспектив научного исследования.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения и бюджет НИИ 4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ 5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования 6. Сравнительная эффективность разработки	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М.В.	к.экон.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ61	Люй Цзиньчжэ		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ61	Люд Цзиньчжэ

Школа	Инженерная школа	Отделение	Экспериментальной
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Физика

Тема дипломной работы: Закономерности аннигиляции позитронов в мембране фторсодержащего полимера поливинилиденфторида при облучении ионами гелия.

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Целью данной работы является исследование закономерностей аннигиляции позитронов в мембране фторсодержащего полимера поливинилиденфторида при облучении ионами гелия.

Описание рабочего места на предмет возникновения:

– вредных проявлений факторов производственной среды

(для обслуживающего персонала необходимо обеспечить оптимальные, в крайнем случае, допустимые значения радиоактивности на рабочем месте, исключить контакт с вредными, радиоактивными веществами – ^{44}Ti , которые могут использоваться в процессе работы установки, обеспечить безопасные используемые методы электромагнитного напряжения от риска утечки.);

– опасных проявлений факторов производственной среды

(в связи с присутствием радиоактивного вещества для питания позитронов, наличии свинцовых кирпич необходимо предусмотреть. Если ситуация не контролируется, то перечислить средства коллективной и индивидуальной защиты от воздействия радиации);

– необходимо обеспечить устойчивую работу вашего производственного участка при возникновении чрезвычайных ситуаций – человеческий фактор, утечка низкотемпературного жидкого азота, потеря небольших радиоактивных источников.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

а) приводится перечень всех используемых в работе реагентов, их агрегатное состояние, класс опасности (токсичности), механизм воздействия их на организм человека, единицы измерения количества (концентрации); приводится перечень средств коллективной и индивидуальной защиты персонала, а также защиты окружающей среды;

б) приводятся данные по оптимальным и допустимым значениям микроклимата на рабочем месте, перечисляются методы обеспечения этих значений; приводится 1 из расчетов (расчет освещенности на рабочем месте, расчет потребного воздухообмена на рабочем месте, расчет необходимого времени эвакуации рабочего персонала);

в) приводятся данные по реальным значениям шума на рабочем месте, разрабатываются или, если уже есть, перечисляются мероприятия по защите персонала от шума, при этом приводятся значения ПДУ, средства коллективной защиты, СИЗ;

г) приводятся данные по реальным значениям электромагнитных полей на рабочем месте, в том числе от компьютера или процессора, если они используются, перечисляются СКЗ и СИЗ;

д) приводятся допустимые нормы с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);

е) предлагаются средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности

а) приводятся данные по значениям напряжения используемого оборудования, классификация помещения по электробезопасности, допустимые безопасные для человека значения напряжения, тока и заземления (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); перечисляются СКЗ и СИЗ;

б) приводится классификация пожароопасности помещений, указывается класс пожароопасности вашего помещения, перечисляются средства пожаробнаружения и принцип их работы, средства пожаротушения, принцип работы, назначение (какие пожары можно тушить, какие – нет),

с) приводится пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия)

3. Охрана окружающей среды:

организация безотходного производства (приводится перечень радиоактивных веществ при эксплуатации

установки, перечисляются методы улавливания, переработки, хранения и утилизации).
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <p>а) Приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия;</p> <p>б) разрабатываются превентивные меры по предупреждению ЧС;</p> <p>в) разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</p> <p>г) разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <p>специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства (приводится перечень ГОСТов, СНиПов и др. законодательных документов, использованных в своей работе);</p>
<p>Перечень графического материала:</p> <p>1) Пути эвакуации</p> <p>2) План размещения светильников на потолке рабочего помещения</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученная степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н, профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ61	Люй Цзиньчжэ		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки Физика

Уровень образования Магистр

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
02.05.2018	Обзор литературы	20
10.05.2018	Объект и методы исследования	25
20.05.2018	Расчет и аналитический анализ	25
25.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2018	Социальная ответственность	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Лаптев Р.С	к.т.н., ассистент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОЭФ	Лидер А.М.	д.т.н., доцент		

<p>Исходные данные к работе</p> <p>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Исходный материал: пленки Ф-2М (ПВДФ) толщиной 20 мкм производства “Фторполимер” (г. Санкт-Петербург)</p> <p>Цель работы. Исследование закономерности аннигиляции позитронов в мембране фторсодержащего полимера поливинилиденфторида при облучении ионами гелия</p>
--	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Литературный обзор, включающий теоретические основы методов позитронной спектроскопии и технологий для их реализации, а также применение позитронной спектроскопии для исследования полимерных материалов.</p> <p>2. Разработка способа проведения анализа методом позитронной аннигиляции с использованием изотопа для полимерных пленок.</p> <p>3. Измерение и сравнительный анализ зависимости свободных объемов и степени кристаллизации ПВДФ от поглощенной дозы.</p> <p>4. Обсуждение результатов работы.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Графики зависимости характеристик позитронной спектроскопии от поглощенной дозы, графики зависимости характеристики РСА спектра от поглощенной дозы.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант
Литературный обзор	Ассистент ОЭФ Лаптев Р.С
Материал и методы исследования	Ассистент ОЭФ Лаптев Р.С
Результаты эксперимента	Ассистент ОЭФ Лаптев Р.С
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП. Верховская М.В.
Социальная ответственность	Профессор д.т.н. Федорчук Ю.М.
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
Введение	
3. Применение позитронной спектроскопии для исследования полимерных материалов	
4.1 Определение оптимального расположения и толщины образца (ПВДФ) для получения максимального количества аннигилированных в образце позитронов от радиозотопа.	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЭФ	Лаптев Р.С	к.т.н, ассистент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0БМ61	Люй Цзиньчжэ		

Приложение А

Введение, Глава №3, Глава №4.1

Theoretical part

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0БМ61	Люй Цзиньжэ		

Руководитель ВКР __ Лаптев Р.С. _____

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЭФ	Лаптев Р.С	к.т.н, ассистент		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Кабрышева О.П.			



Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

ШКОЛА Инженерная школа ядерных технологий
Отделение школы (НОЦ) отделение экспериментальной физики

**ОТЧЕТ О РАБОТЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ
КОМИССИИ**

ПО НАПРАВЛЕНИЮ (СПЕЦИАЛЬНОСТИ)

03.04.02 физика конденсированного состояния вещества

(код и наименование направления (специальности))

СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ (ПРОФИЛЬ)

магистр

(наименование специализации/профиля)

Форма подготовки

очная

(очная, очно-заочная, заочная)

Уровень подготовки

магистратура

(бакалавриат, магистратура, специалитет)

2018 г

Реферат

Выпускная квалификационная работа 132 с., 21 рисунков, 27 таблицы, 63 источника, 2 приложения.

Ключевые слова: позитронная аннигиляция, свободный объем, степень кристаллизация, рентгеноструктурный анализ, поливинилиденфторид, ионы гелия, поглощенная доза, сшивание, деградация.

Объектом исследования являются мембраны фторсодержащего полимера поливинилиденфторида после облучения ионами гелия.

Цель работы – исследование закономерностей аннигиляции позитронов в мембране фторсодержащего полимера поливинилиденфторида при облучении ионами гелия.

В результате исследования была установлена динамика изменения структуры материала на основе временного распределения аннигиляционных позитронов и рентгеноструктурного анализа. Свободный объем определен по третьей компоненте времени жизни, которая представляет собой pick-off аннигиляцию o -Ps, расчет степени кристаллизации проведен по соотношению интенсивностей второй и третьей компонент времени жизни позитронов. При поглощенной дозы меньше 0,25 МГр наблюдается уменьшение свободного объема, степень кристаллизации практически не изменяется. В диапазоне поглощенной дозы 0,25~0,4 МГр наблюдается рост степени кристаллизации и увеличение свободного объема. При дальнейшем увеличении поглощенной дозы наблюдается непрерывное снижение степени кристаллизации, свободный объем сначала практически не изменяется, а затем немного увеличивается. На основе теории сшивания и деградации предположена модель изменения структуры поливинилиденфторида в зависимости от поглощенной дозы α частиц.

В первой главе описаны физические основы методов электрон-позитронной аннигиляции.

Во второй главе представлены способы экспериментальной реализации методов электрон-позитронной аннигиляции.

Третья глава посвящена применению спектрометрии временного распределения аннигиляции позитронов для полимерных материалов.

В четвертой главе приведены результаты исследования влияния облучения α частицами на свободный объем поливинилиденфторида методом временного распределения аннигиляции позитронов.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016.

Оглавление

Введение	4
1. Основа метода электрон-позитронной аннигиляции	7
1.1 Физическая основа метода электрон-позитронной аннигиляции	7
1.2 Позитроний	9
1.2.1 Физические свойства позитрония	9
1.2.2 Аннигиляция позитрония	10
1.2.2.1 Правило отбора аннигиляции позитрония	10
1.2.2.2 Коэффициент аннигиляции	11
1.2.2.3 Энергия аннигиляционных γ -квантов	12
1.3 Гашение позитрония	13
1.3.1 Конверсионное гашение	13
1.3.2 Pick-off гашение	14
1.3.3 Магнитное гашение	15
1.3.4 Химическое гашение	15
2. Реализация методов электрон-позитронной аннигиляции	16
2.1 Источник позитронов	16
2.2 Развитие исследования позитронной спектроскопии высокомолекулярных полимеров с помощью анализа ВРАП	18
2.3 Метод доплеровского уширения аннигиляционных линий (ДУАЛ) ..	20
2.3.1 Технология детектирования γ -квантов	20
2.3.2 Техническая реализация метода ДАУЛ	21
2.3.2.1 Технология доплеровского уширения без совпадения детекторов	21
2.3.2.2 Технология доплеровского уширения с системой совпадения	23
2.3.3 Анализ доплеровского уширения аннигиляционных линий (ДУАЛ)	27
2.3.3.1 Анализ S, W параметров	27

2.3.3.2 2γ/3γ анализ	30
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .	33
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	33
5.2 SWOT-анализ.....	36
5.3 Планирование научно-исследовательских работ	41
5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	42
5.3.2 Разработка графика проведения научного исследования	43
5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	47
5.5 Организационная структура проекта.....	53
5.6 Матрица ответственности.....	53
5.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	55
6. Социальная ответственность	60
6.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	60
6.1.1 Метеоусловия	60
6.1.2 Радиоактивность.....	62
6.1.3 Освещенность.....	62
6.1.4 Электрическое напряжение	66
6.1.5 Воздействие низкой температуры.....	66
6.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	66
6.2.1 Факторы электрической природы.....	66
6.2.2 Факторы пожарной и взрывной природы.....	69
6.3 Охрана окружающей среды	71
6.4 Защита в ЧС	72

6.5 Графические материалы	75
6.6 Заключение	76
Заключение	77
Список используемых источников	79
Приложение В	93

Введение

В 1930 году при поиске решения уравнения о свободных электронах на основе теории относительности английский физик Дирак предсказал существование позитрона. В 1932 году американский физик Anderson открыл позитрон при исследовании космических лучей. На сегодняшний день позитронная спектроскопия в качестве современной ядерной технологии получает широкое распространение в различных областях науки. Одним из перспективных направлений исследования во всем мире является исследование позитронной спектроскопией микроструктуры высокомолекулярных полимеров. Несмотря на то, что высокомолекулярная наука уже развивается полвека, исследование структуры высокомолекулярных цепей (конформация, разветвление и сшивание цепей), структуры конденсированного состояния (кристаллическое состояние, аморфное состояние и многофазная система), поверхностной структуры полимера и связи таких структур с макроскопическими физико-химическими свойствами полимера до сих пор не утратили своей актуальности. За счет использования античастиц как нанозонда, позитронная спектроскопия отличается от других экспериментальных технологий, за счет чего имеет значительные преимущества при контроле микроструктуры высокомолекулярных полимеров, микропор порядка нанометра, превращений структуры и свойств поверхности, а также при анализе совместимости смешанных полимеров.

Экспериментальные исследования показали, что большинство физических свойств высокомолекулярных полимеров, такие как механические свойства, вязкость, стеклование и релаксация, связаны со свободными объемами атомного размера. Свободный объем представляет собственный дефект в высокомолекулярном полимере, с точки зрения молекулярного движения он является необходимым пространством для движения молекулярной цепи; по структуре он характеризуется беспорядочной вакансией, распространяемую между молекулярными цепями.

В результате тесной связи между свободными объемами и транспортными свойствами молекулярных цепей, которые в свою очередь влияют на многие макроскопические свойства высокомолекулярных полимеров, особую роль играет контроль микропор порядка нанометра и свободных объемов атомного размера. Позитронная спектроскопия позволяет получить информацию о размере, количестве и распределении свободных объемов. Кроме того, одним из преимуществ данного метода является низкая степень разрушительного воздействия на исследуемые материалы [1].

В высокомолекулярных полимерах позитроны не только прямо аннигилируются с электронами, но и вместе образуют с электронами метастабильное состояние «позитроний» с последующей аннигиляцией. В связи с тем, что размер позитрония составляет только 1,06 Å и большинство о-Рs образованы в свободных объемах с последующей аннигиляцией, измерение параметров аннигиляционных о-Рs позволяет получить информацию о микроструктуре высокомолекулярных материалов, при этом время жизни и интенсивность показывают размер и количества свободного объема соответственно [1].

Исходя из времени жизни о-Рs, полученного по позитронной спектроскопии, можно определить средний размер свободного объема в высокомолекулярных материалах. Измерение зависимости времени жизни о-Рs от температуры позволяет определить наиболее важные свойства высокомолекулярных полимеров – стеклование и структурную релаксацию. По сравнению с традиционным в химической науке дифференциальным термическим анализом такой метод определения превращения структуры более эффективен и позволяет получить зависимость изменения свободного объема от температуры, а также даёт возможность определить состояние движения молекулярных цепей при различных температурах.

Цель работы – исследование закономерностей аннигиляции позитронов в мембране фторсодержащего полимера поливинилиденфторида при облучении ионами гелия.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Разработка методики измерения временного распределения аннигиляции позитронов в полимерных пленках на радиоизотопном источнике ^{44}Ti ;
2. Измерение временного распределения аннигиляции позитронов в полимерных пленках ПВДФ после облучения ионами гелия;
3. Обработка спектров временного распределения аннигиляции позитронов в полимерных пленках ПВДФ после облучения ионами гелия;
4. Расчет свободного объема в полимерных пленках ПВДФ после облучения ионами гелия.

Выносимые положения на защиту:

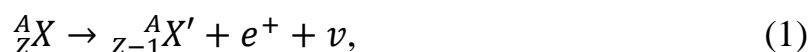
1. Разработан способ измерения временного распределения аннигиляции позитронов на радиоизотопе ^{44}Ti для проведения исследования пленок ПВДФ.
2. Установлено, что при облучении ионами гелия пленок ПВДФ, в зависимости от поглощенной дозы свободный объем уменьшается при дозах меньше 0,25 МГр, при повышении дозы до 0,5 МГр не происходит значительного изменения свободного объема, а дальнейшее увеличение дозы до 0,6 МГр приводит к его незначительному росту, что обусловлено движением и сшиванием сегментов молекулярных цепей в некристаллической области при низкой поглощённой дозе и деградацией длинных молекулярных цепей при высокой поглощенной дозе.

1. Основа метода электрон-позитронной аннигиляции

1.1 Физическая основа метода электрон-позитронной аннигиляции

Аннигиляция – это процесс, в котором частица и соответствующая ей античастица превращаются в кванты электромагнитного поля или в другие частицы кванты физических полей другой природы.

Позитроны возникают за счет β^+ распада радиоактивных изотопов (например ^{22}Na и ^{44}Ti). Реакция β^+ распада следующая [2]:



где e^+ – позитрон; ν – нейтрино.

После испускания позитрона средней энергией 100-1000 кэВ ядро остаётся в возбужденном состоянии и затем за очень короткое время возвращается в основное состояние, излучая один или два γ -кванта. Данные ядерные γ -кванты (1,27 МэВ) называются вторичными и используются для регистрации момента рождения позитрона.

В материале происходит процесс быстрой потери энергии позитронов до тепловых значений $E = kT \approx 0,025$ эВ, называемый процессом термализации. Время термализации зависит от энергии позитрона и параметров среды и обычно не превышает несколько пикосекунд, за это время позитроны проникают сквозь материал примерно на ~ 100 нм. Под временем жизни позитронов понимается момент времени от термализации позитронов до аннигиляции с электронами среды. Среднее время жизни позитронов в металле составляет 100~200 пс [3].

Глубина проникновения позитронов в материал зависит от их энергии и обычно составляет 20-300 мкм. В связи с этим в практическом эксперименте толщина образца требуется не меньше 1 мм для обеспечения полной аннигиляции позитронов в образце.

Классификация состояний позитронов в материале осуществляется по двум критериям. По положению позитронов в материале выделяются два состояния:

1) Делокализованное в кристаллической решётке состояние, которое даёт информацию о электронном строении внешних электронных оболочек атомов твёрдого тела, определяющих его основные свойства;

2) Состояние, локализованное в окрестности дефектов кристаллического строения, которое позволяет определить тип дефектов и их концентрации в кристалле.

По соотношению позитронов с электронами вещества различаются два основных состояния позитронов:

1) Свободные позитроны;

2) Позитроний (Ps). Под позитронием понимается связанное состояние, образуемое позитроном и электроном вещества при торможении позитрона в среде до скоростей порядка скорости атомных электронов.

По спиновым состояниям позитрона и электрона разделяют два основных состояния позитрония:

1) Синглетное, или парапозитроний (p-Ps), спины электрона и позитрона антипараллельны. Собственное время жизни p-Ps в вакууме составляет 125 пс;

2) Триплетное, или ортопозитроний (o-Ps), спины электрона и позитрона параллельны, Собственное время жизни o-Ps в вакууме составляет 140 нс).

Однако почти во всех материалах или в сильном магнитном поле практическое время жизни o-Ps гораздо меньше своего собственного времени жизни, в частности, в материалах в конденсированном состоянии время жизни o-Ps сокращается до несколько наносекунд. Это связано с наличием в материале процесса гашения (quenching), который приводит к сокращению времени жизни o-Ps.

Метод позитронной аннигиляции используют для исследования дефектов и электронной структуры веществ в физике твердого тела и материаловедении. Такая информация получена путем анализа временного распределения аннигиляции позитронов (ВРАП) и анализа доплеровского уширения аннигиляционных линий (ДУАЛ) [4-8]. Методы анализа ВРАП и ДУАЛ подробно представлены в главе 2.

1.2 Позитроний

1.2.1 Физические свойства позитрония

Позитроний – связанная квантовомеханическая система (экзотический атом), состоящая из электрона и позитрона. В позитронии позитрон и электрон, образуют нейтральный «атом», вращаясь вокруг массового центра. Структура Ps близка к структуре атома водорода. Одним и тем же массой и спином обладают позитрон и электрон, заряд и магнитный момент которых равняются друг другу по величине, но имеют противоположные знаки. Позитрон и электрон относятся к лептонам, между которыми действует только электромагнитное взаимодействие. Сравнение основных свойств Ps и атома водорода представлено в таблице 1.

Таблица 1 – сравнение основных свойств Ps и атома водорода.

Название	Знак	Состав	Приведенная масса (МэВ)	Среднее расстояние между положительным и отрицательным зарядами в основном состоянии	Ионизационный потенциал (эВ)	Радиус Бора (10^{-1}нм)

				(см)		
атом водорода	H	p^+e^-	938,2	$0,529 \cdot 10^{-8}$	13,6	0,53
позитрон ий	Ps	e^+e^-	0,511	$1,05 \cdot 10^{-8}$	6,8	1,06

Состояние Ps описывается методом описания атома водорода, т.е. знак состояния обозначается $n^{2s+1}l_J$, где n – главный квантовое число, J , l , s являются общим моментом импульса, орбитальным моментом импульса и квантовым числом спинового момента импульса и $\mathbf{J} = \mathbf{l} + \mathbf{S}$. Для основного состояния Ps $l = 0$, $\mathbf{J} = \mathbf{S}$, т.е. общий момент импульса равен сумме спиновых моментов импульса позитрона и электрона. Спин Ps основного состояния зависит от относительной ориентации позитрона и электрона. Если спин позитрона и электрона параллелен, то спин Ps равен 1, тогда такой Ps называется парапозитронием (o-Ps), который является триплетным и обозначается знаком 1^3S_1 . Если спины позитрона и электрона антипараллельны, то спин Ps равен нулю, тогда такой Ps называется ортопозитронием, который является синглетным и обозначается знаком 1^1S_0 .

В связи с различием весов состояний позитрониев, o-Ps ($\mathbf{J} = \mathbf{S} = 1$; $m = 0, \pm 1$) три раза больше, чем p-Ps ($\mathbf{J} = \mathbf{S} = 0$; $m = 0$), т.е. в образованных Ps 75% является триплетным и 25% является синглетным [9, 10].

1.2.2 Аннигиляция позитрония

Позитроний представляет собой метастабильную связанную систему, состоящую из позитрона и электрона, в которой позитрон теряет свою независимость, в результате чего аннигиляция позитрония отличается от аннигиляции позитронов как в свободном состоянии, так и в состоянии захвата.

1.2.2.1 Правило отбора аннигиляции позитрония

Аннигиляция позитрония является процессом электромагнитного взаимодействия, при котором четность сохраняется. Сопряженная четность зарядов P_s выражается следующим образом:

$$C = P_i P_l P_s, \quad (2)$$

где P_i – собственная четность, для пары частица-античастицы $P_i = -1$;

P_l – пространственная четность;

P_s – спиновая четность, $P_s = -(-1)^s$.

Таким образом:

$$C = -(-1)^{l+s}, \quad (3)$$

Для позитрония основного состояния выделяются следующие два случая:

для синглетного состояния позитрония 1^1S_0 : $C = (-1)^0 = 1$;

для триплетного состояния позитрония 1^3S_1 : $C = (-1)^1 = -1$.

После аннигиляции позитрония испускаются n фотонов, четность которых составляет $(-1)^n$. Для состояния 1^1S_0 n является четным числом, при этом наиболее вероятным процессом является 2γ распад; для состояния 1^3S_1 n является нечетным числом, при этом наиболее вероятным процессом является 3γ распад, вероятность которого гораздо больше вероятности 4γ или 5γ распада.

1.2.2.2 Коэффициент аннигиляции

Коэффициент 2γ аннигиляции состояния 1^1S_0 впервые получен ученым Pirenne [11] на основе квантовой электродинамики:

$$\begin{aligned} \lambda_{2\gamma} &= 8 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}, \\ \tau_{2\gamma} &= \frac{1}{\lambda_{2\gamma}} = 1,25 \cdot 10^{-10} \text{ с}, \end{aligned} \quad (4)$$

Коэффициент 3γ аннигиляции состояния 1^3S_1 впервые получен учеными Ore и Powell [12]:

$$\lambda_{3\gamma} = 7 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1},$$

$$\tau_{2\gamma} = \frac{1}{\lambda_{3\gamma}} = 140 \text{ нс}, \quad (5)$$

1.2.2.3 Энергия аннигиляционных γ -квантов

При самоаннигиляции Ps по сравнению со статической энергии ($2m_e c^2$) кинетическая энергия Ps (уровень энергии теплового движения, 0,025 эВ) можно пренебречь. Для 2γ аннигиляции Ps основного состояния по законам сохранения энергии и импульса два аннигиляционных фотона обладают энергией $m_e c^2$ и разлетаются в противоположенных направлениях. Тогда как для 3γ аннигиляции сумма энергии трёх фотонов равна $2m_e c^2$, при этом три фотона распыляются на одной и той же плоскости, суммарный импульс которых равен нулю.

$$\begin{cases} P_{\gamma_1} + P_{\gamma_2} + P_{\gamma_3} = 0 \\ E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2} + E_{\gamma_3} = 2m_e c^2, \end{cases} \quad (6)$$

где P_{γ_1} , P_{γ_2} , P_{γ_3} и E_{γ_1} , E_{γ_2} , E_{γ_3} – импульсы и энергии аннигиляционных фотонов γ_1 , γ_2 , γ_3 . Диапазон энергии каждого фотона составляет $0 \sim m_e c^2$. Ученый Оге также рассчитал энергетический спектр 3γ аннигиляционных фотонов состояния 1^3S_1 , который показан на рисунке 1. Из рисунка 1 видно, что по мере увеличения энергии фотона E_γ вероятность распыления повышается монотонно от нуля, т.е. проявляет линейную зависимость от энергии. При энергии больше $m_e c^2$ вероятность распыления равна нулю [9, 12].



Рисунок 1 – Энергетически спектр аннигиляционных фотонов.

1.3 Гашение позитрония

В связи с различными направлениями спинов позитрона и электрона, образуются два вида Ps. Испускается 3γ кванта при аннигиляции o-Ps, собственное время жизни которого составляет 140 нс; испускается 2γ кванта при аннигиляции p-Ps, собственное время жизни которого составляет 125 пс.

Во всех системах наблюдается снижение времени жизни Ps по сравнению со собственным временем жизни, такое явление обусловлено гашением позитрония. В свободном пространстве собственное время жизни o-Ps составляет 140 нс, однако во многих материалах в результате происхождения гашения время жизни Ps сокращается на 2~3 порядка. В связи с тем, что p-Ps имеет довольно малое время жизни, он аннигилирует не испытав гашение, гашение испытывает главным образом o-Ps. Среди гашений выделяется 4 вида: конверсионное гашение, pick-off гашение, магнитное гашение и химическое гашение.

1.3.1 Конверсионное гашение

В пути дрейфа o-Ps происходит столкновение o-Ps с атомами или молекулами, имеющими непарные электроны, в результате чего электрон, имеющий противоположное направление спина по сравнению с электроном

o-Ps, может заменить электрон o-Ps. Таким образом, направление спина нового электрона антипараллельно направлению спина позитрона, т.е. o-Ps превращается в p-Ps, в результате чего время жизни o-Ps уменьшается. Вероятность превращения p-Ps в o-Ps путем столкновения с атомами или молекулами достаточно мала вследствие короткого времени жизни p-Ps. Конверсионный эффект приводит к снижению времени жизни o-Ps ниже 140 нс. Типичными молекулами, способными вызывать конверсионный эффект, являются NO, NO₂, O₂ и т.д., которые содержат в себе непарные электроны. Более того, ионы и соединения большинства переходных металлов также содержат непарные электроны, что позволяет вызывать конверсионный эффект.

1.3.2 Pick-off гашение

При столкновении o-Ps с атомами или молекулами окружающей среды, связанный позитрон o-Ps берет из окружающей среды электрон, спин которого противоположен направлению спину электрона o-Ps, и аннигилирует с ним. Таким образом o-Ps аннигилирует в виде p-Ps и время жизни уменьшается вплоть до величины меньше 1 нс. Полученный p-Ps аннигилирует, излучая 2γ кванта. Длительность этого процесса зависит от скорости превращения o-Ps в p-Ps, т.е. от характеристик среды, в которой расположены o-Ps. В твердых телах o-Ps излучает 2γ кванты путем pick-off гашения, время жизни которого составляет 0,6~6 нс. Pick-off гашение является одним из важных путей гашения o-Ps, скорость которого зависит от концентрации молекул окружающей среды n , сечение взаимодействия молекул материала σ и скорость дрейфа позитрона o-Ps v . В материалах реальный коэффициент аннигиляции o-Ps λ_f определяется следующим образом [9, 17]:

$$\lambda_f = \lambda_f^0 + \sigma \cdot n \cdot v, \quad (7)$$

где $\lambda_f^0 = \frac{1}{140} \text{ нс}^{-1}$ является собственным коэффициентом аннигиляции о-Ps;
 λ_f – реальный коэффициент аннигиляции о-Ps в материалах, $\lambda_f \gg \lambda_f^0$.

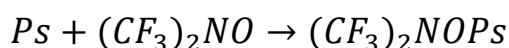
1.3.3 Магнитное гашение

В сильном магнитном поле о-Ps состояния $m = 0$ смешиваются с р-Ps, т.е. 1/3 о-Ps аннигилируют, излучая 2γ кванта с одной и той же скоростью, что и р-Ps. Таким образом, количество о-Ps с длинным временем жизни в три раз меньше, как и количество событий 3γ аннигиляции, тогда как события аннигиляции р-Ps с излучением 2γ квантов в 2 раз увеличивается.

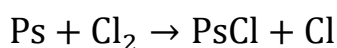
1.3.4 Химическое гашение

Процесс гашения бывает физическим и химическим. Pick-off, конверсионное и магнитное гашения относятся к физическим процессам, а синтез, замещение и окисление относятся химическим процессам, т.е. являются химическим гашением. Среди реакции химического гашения выделяются следующие уравнения реакции [13, 14, 15, 16]:

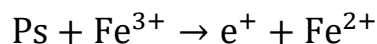
Реакция синтеза:



Реакция замещения:



Реакция окисления:



2. Реализация методов электрон-позитронной аннигиляции

2.1 Источник позитронов

Существует два основных способа получения позитронов:

1) Путем радиационного распада изотопа. Данные изотопы, как правило, представляют собой радиационные источники с недостатком нейтронов, например, ^{22}Na , ^{58}Co , ^{64}Cu , ^{44}Ti и т.д., которые распадаются через преобразование протон на нейтрон с излучением позитрона.

2) На основе тормозного излучения электронных пучков высокой энергии порядка МэВ.

В таблице 2 перечислены основные свойства нескольких традиционных источников позитронов. При этом наиболее часто используется ^{22}Na , схема распада которого показана на рисунке 2. Испустив позитрон, ^{22}Na распадается на ^{22}Ne в возбужденном состоянии с последующим распылением γ кванта и в результате превращается в стабильный ^{22}Ne .

Таблица 2 – Основные свойства обычных источников позитронов.

Изотоп	Период полураспада	Выход позитронов	Максимальная энергия позитронов, МэВ	Энергия вторичного γ -кванта, МэВ
^{13}N	9,96 мин.	1	1,20	-
^{15}O	123 с	1	1,74	-
^{18}F	110 мин.	0,97	0,63	-
^{19}Ne	17,4 с	1	2,22	-
^{22}Na	2,6 лет	0,9	0,54	1,27
^{26}Al	$8 \cdot 10^5$ лет	0,85	1,17	1,81

^{44}Ti	47 лет	0,94	1,47	1,16
^{58}Co	71 дней	0,15	0,47	0,81
^{57}Ni	36 часов	0,46	0,85	1,37
^{68}Ge	275 дней	0,88	1,90	1,08
^{89}Zr	79 часов	0,22	0,9	-

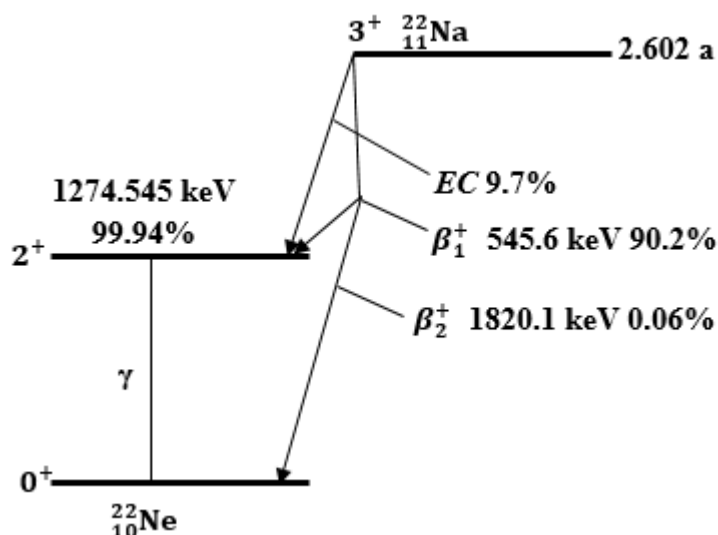


Рисунок 2 – Схема распада $^{22}_{11}\text{Na}$.

По сравнению с другими источниками позитронов ^{22}Na обладает следующими преимуществами:

- 1) высоким выходом позитронов до 0.9;
- 2) длинный срок службы в связи с длинным периодом распада до 2,6 лет;

3) в то же время, когда ^{22}Na излучает позитрон, происходит образование γ -кванта с энергией 1,28 МэВ, разница времени распыления которого и позитрона составляет только 3 пс. С учетом этого данный γ -квант может использоваться в качестве сигнала о появлении позитрона;

Источник позитронов ^{22}Na , изготавливается следующим образом: $^{22}\text{NaCl}$ раствор наносится на металлическую или полимерную пленку толщиной нескольких микрометров (например, Ni пленка, Al пленка, Ti пленка, полиэфирная тонкая пленка, полиимида пленка и т.д.), затем сушится с помощью инфракрасной лампы и наконец покрывается другой

металлической или пластической пленкой. Кроме того, для увеличения механической прочности радиационного источника можно приложить металлическую рамку по контуру источника. Интенсивность радиационного источника в лаборатории составляет $3,7 \times 10^5 \sim 1,85 \times 10^6$ Бк. С учетом того, что определенную толщину имеет поддерживающая источник позитронов металлическая или пластическая пленка, в которой аннигилируется часть позитронов, при анализе аннигиляции позитронов в исследуемом образце необходимо это учитывать, что называется коррекцией источника.

При исследовании материалов методами позитронной спектроскопии для обеспечения аннигиляции всех позитронов в исследуемых образцах, образцы и источник позитронов располагают по сэндвич-структуре, т.е. образцы располагаются по обе стороны от источника. К тому же, чтобы все позитроны оставались в объеме образца, толщина образца должна быть больше глубины проникновения позитронов. Наибольшая энергия позитронов, распыляемых источником ^{22}Na , составляет 0,545 МэВ, которая позволяет позитронам проникать металл на глубину 0,3~1 мм, тогда как в полимерных материалах с маленькой плотностью глубина внедрения позитронов составляет 1~2 мм [9, 18, 2].

2.2 Развитие исследования позитронной спектроскопии высокомолекулярных полимеров с помощью анализа ВРАП

Используя принципы квантовой механики, ученые Тао и Eldrup получили соотношение между радиусом сферического свободного объема и времени жизни О-Рs [19, 20]:

$$\tau = \tau_0 \left[1 - \frac{R}{R+\Delta R} + \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi R}{R+\Delta R}\right) \right]^{-1}, \quad (8)$$

где τ – времена жизни о-Рs в свободном объеме;

τ_0 – времена жизни о-Рs в электронном слое, окружающем свободный объем;

R – радиус сферического свободного объема;

ΔR – толщина электронного слоя, образуемого на внешних электронах свободного объема, на которых происходит аннигиляция о-Ps,
 $\Delta R = 1,656 \text{ \AA}$

Исходя из времени жизни о-Ps, полученного по позитронной спектроскопии, можно определить средний размер свободного объема в высокомолекулярных материалах.

Развитие исследования свойств свободных объемов с помощью позитронной спектроскопии разделится на 3 важных стадии:

1) Китайский ученый Wang Cailin открыл масштабное поведение свободных объемов в высокомолекулярных полимерах, имеющих линейные цепные структуры [21]:

$$I \sim (T - T_g)^\beta, \quad (9)$$

$$\beta = \frac{d[\ln I_3(T)/\ln I_3(T_g)]}{d[\ln(T - T_g)/T_g]}, \quad (10)$$

где I – интенсивность о-Ps;

$I_3(T)$ – интенсивность о-Ps при температуре T ;

$I_3(T_g)$ – интенсивность о-Ps при температуре T_g .

Индекс β связан со степеней разветвления цепей.

2) Достижение второй стадии состоит в исследовании анизотропности структуры свободных объемов. Для упрощения анализа и расчета при использовании формулы (8) было предположено, что свободные объемы имеют сферическую форму. Однако на самом деле для свободных объемов возможны различные фигуры. На основе спектров времени жизни аннигиляции позитронов Jean и его сотрудники исследовали связь между временем жизни о-Ps и эллипсоидными свободными объемами, а также анизотропность структуры свободных объемов [22, 23].

3) Последнее достижение заключается в том, что разработана программа анализа непрерывных спектров времени жизни аннигиляционных позитронов, которая позволяет получить более точную информацию о

размере, количестве и распределении свободных объемов. До этого дискретные спектры времени жизни аннигиляционных позитронов раскладывали как:

$$Y(t) = R(t) \times \left| N_t \sum_{i=1}^n \lambda_i \alpha_i e^{-\lambda_i t} \right| + B, \quad (11)$$

где i – знак составляющего времени жизни позитронов;

N_t – общий счет;

λ_i – процент аннигиляции i -го составляющего, который является обратным числом соответствующей времени жизни;

$\lambda_i \alpha_i$ – интенсивность i -го составляющего;

$R(t)$ – функция разрешения установки.

После обработки по формуле (11) с помощью программы RATFIT получался набор дискретных значений временных компонент [24]. Несмотря на хорошую аппроксимацию, для более точной обработки данных необходимо рассматривать время жизни как непрерывный спектр, в связи с этим необходимо преобразовать формулу (11) в интегральную форму:

$$Y(t) = R(t) \times \left[N_t \int_0^\infty \lambda \alpha(\lambda) e^{-\lambda t} dt \right] + B, \quad (12)$$

Используя метод численного обратного преобразования Лапласа, Ученные Provencher и Gregory [25, 26] нашли решение уравнения (12) и на основе этого решения разработали программу CONTIN для анализа непрерывных спектров, которая после усовершенствования ученым Tang Zheng [27] получила широкое распространение. Программа CONTIN позволяет получить информацию как о размере и количестве свободных объемов, так и о распределении свободных объемов.

2.3 Метод доплеровского уширения аннигиляционных линий (ДУАЛ)

2.3.1 Технология детектирования γ -квантов.

В основе позитронной спектроскопии лежит исследование γ -квантов, испускаемых в результате аннигиляции позитронов и электронов, носящих информацию о микроструктуре материалов, например, плотности электронов,

распределении импульсов электронов и т.д. Вследствие чего в каждой экспериментальной методике позитронной спектроскопии важное значение имеет способ детектирования γ -квантов. Каждая экспериментальная методика имеет различные требования к детекторам γ -квантов, т.е. необходимо использовать детекторы различных видов при реализации различных методов измерения позитронной аннигиляции. Например, при измерении времени жизни позитронов применяется BaF_2 и пластический сцинтилляционный детектор, при измерении ДУАЛ используется детектор на основе особо чистого германия (ОЧГ), а при анализе углового распределения аннигиляционных фотонов (УРАФ) используется NaI (Tl) сцинтилляционный детектор [28, 29]

2.3.2 Техническая реализация метода ДАУЛ

2.3.2.1 Технология доплеровского уширения без совпадения детекторов

При измерении ДУАЛ применяется детектор ОЧГ, который является полупроводниковым детектором типа р–п. При попадании γ -квантов в р–п область возникают пары электрон–дырки, под воздействием электрического поля электроны и дырки дрейфуют на два электрода соответственно и образуют электрический сигнал в выходном контуре. Преимущества такого детектора состоят в высоком энергетическом разрешении и широком линейном масштабе. Детектор ОЧГ обладает энергетическим разрешением несколько десятков раз больше, чем энергетическое разрешение NaI(Tl) детектора, а также относительно высокой эффективностью детектирования, вследствие этого целесообразно применяется детектор ОЧГ для исследования ДУАЛ. На рисунке 3 показана схема системы измерения ДУАЛ. Измеряемые детектором ОЧГ сигналы подвергаются постепенному увеличению и потом подаются в многоканальный анализатор (МКА), где формируется энергетический спектр аннигиляционных γ -квантов и γ -квантов, излучаемых источником позитронов. Спектрометр ДУАЛ имеет скорость счета примерно во 100 раз больше, чем система УРАФ, т.е. проведение измерения в течение 1

ч с помощью источника позитронов с $1,85 \cdot 10^5$ Бк уже достаточно для обеспечения необходимой точности измерения. Однако по сравнению с установкой УРАФ система ДУАЛ имеет недостаточно высокое энергетическое разрешение. Кроме того, существует проблема стабильности электроники, с учетом чего необходима использовать систему стабилизации. Цифровой стабилизатор спектра на многоканальном анализаторе позволяет в значительной степени ингибировать дрейф электроники системы.

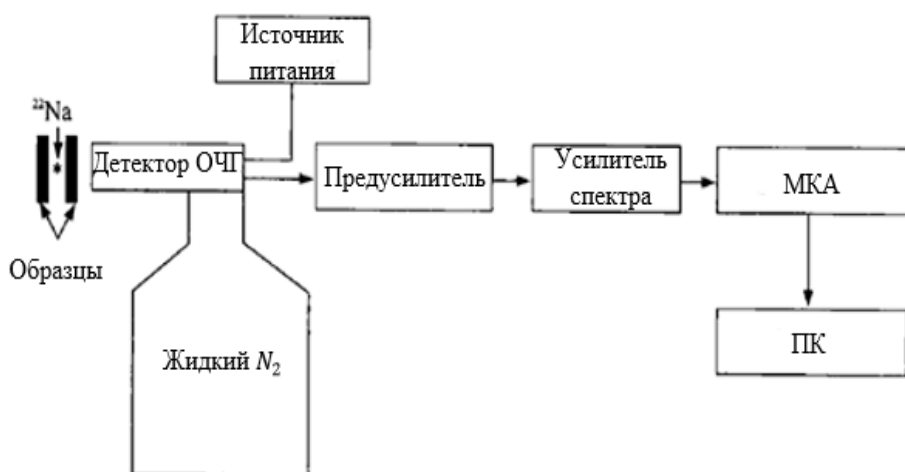


Рисунок 3 – Схема системы измерения ДУАЛ

Энергия электронов, как правило, составляет только несколько эВ. Если энергия электрона составляет 4 эВ, то в соответствие с формулой $\Delta\nu/\nu = v_L/c$, т.е. $\Delta E/E = v_L/c$, ΔE примерно составляет 1 кэВ, т.е. максимальное доплеровское уширение составляет только 2 кэВ. Для одного и того же образца изменение ΔE за счет изменения других факторов (например, температура образца, облучение, отжиг и т.д.) пренебрежимо мало. В результате чего для наблюдения небольшого сдвига доплеровского уширения в многоканальном анализаторе энергетическая ширина каждого канала должна устанавливаться максимально узкой. Как правило, если общее число каналов в многоканальном анализаторе составляет 8192, то можно устанавливать ширину канала равную 70~80 эВ/канал путем регулирования коэффициента умножения усилителя [9, 18, 2].

2.3.2.2 Технология доплеровского уширения с системой совпадения

При обычном измерении ДУАЛ применяется только один детектор ОЧГ, полученный спектр с помощью которого имеет весьма высокий фон. При этом соотношение сигнала/шума высокоэнергетической части достигает 150:1, в низкоэнергетической части это соотношение становится более высоким. В результате чего как правило высоким фоном скрыто детальное изменение ДУАЛ, в частности, скрыта часть спектра, связанная с аннигиляцией с остовными электронами, обладающими высокими значениями импульсов и имеющая низкую эффективность. В связи с этим трудно проводить исследование импульсного распределения остовных электронов. Однако остовные электроны несут информацию о собственных характеристиках атомных ядер, измерение импульсного распределения которых позволяет исследовать подрешетки дефектов, т.е. химического окружения у дефектов.

Источник фона ДУАЛ зависит от многих факторов, среди которых выделяются комптоновский эффект γ -квантов с энергией 1,28 МэВ (для источника позитронов ^{22}Na) и 0,511 МэВ, облучение окружающей среды, неполное собирание зарядов детектором, эффект «pile-up» и т.д. Ранее используя один Ge(Li) детектор и один NaI(Tl) детектор, расположенные под углом 180° , Lynn и др [31]. с помощью технологии совпадения повысили соотношение сигнала/шума до 4500:1, т.е. в 30 раз больше, чем обычный детектор ДУАЛ. Данный результат получен за счет того, что, когда Ge(Li) и NaI(Tl) детекторы измеряют два γ -кванта, от аннигиляции одного и того же позитрона, схема совпадения выводит пороговый сигнал и позволяет многоканальному анализатору записать сигнал. Вследствие чего схема совпадения способна устранять большинство фоновых событий. Впоследствии Lynn разработал спектрометр ДУАЛ с двумя детекторами, которые представляют собой два Ge(Li) детектора с близкими характеристиками. Записав и обработав двухмерный спектр доплеровского

уширения, он получил одномерный спектр, для которого соотношение сигнала/шума достигло до 10^5 и выше, а также энергетическое разрешение повысилось в $\sqrt{2}$ раз [32]. В связи с этим спектрометр ДУАЛ с двумя детекторами позволяет проводить химический анализ элементов [18, 30, 31].

Если энергия двух аннигиляционных γ -квантов, детектированных двумя детекторами ОЧГ соответственно, обозначена E_1 и E_2 , то:

$$\begin{aligned} E_1 &= m_0 c^2 + cP_L/2 - E_b/2, \\ E_2 &= m_0 c^2 - cP_L/2 - E_b/2, \end{aligned} \quad (13)$$

где m_0 – статическая масса электрона;

E_b – энергия связи электрона;

P_L – значение импульса электрон-позитронной пары в направлении линии, соединяющей образец и детектор.

Таким образом можно определить другие два энергии: сумма энергии $E_s = E_1 + E_2$ и разность энергии $E_d = E_1 - E_2$. В связи с тем, что E_b относительно маленькая, ей можно пренебречь.

$$E_d = E_1 - E_2 = cP_L, \quad (14)$$

Т.е. разность энергий двух γ -квантов, измеряемых двумя детекторами, в два раз больше доплеровского уширения аннигиляционных γ -квантов. В результате чего можно перестроить спектр доплеровского уширения на основе значений $E_1 - E_2$, т.е. получить импульсное распределение электронов. На рисунке 4 представлена схема спектрометра ДУАЛ с двумя детекторами, построенного на основе вышеизложенной схемы. Сигналы от двух ОЧГ детекторов, через умножитель направляются на аналого-цифровые преобразователи (АЦП), сигналы из двух АЦП затем направляются на два входа (X и Y) двухпроходного МКА. Биполярные сигналы от усилителей поступают одновременно в два одноканальных анализатора и затем в схему совпадения. С помощью одноканальных анализаторов выбираются только сигналы от аннигиляционных γ -квантов с энергией 0,511 МэВ. Таким образом, только тогда, когда два детектора детектируют два γ -кванта, испускаемых в результате аннигиляции одного и того же позитрона,

выходные сигналы от схемы совпадения открывает запись АЦП, в итоге получается двухмерный спектр ДУАЛ, который показан на рисунке 5.



Рисунок 4 – Схема спектрометра ДУАЛ с двумя детекторами.

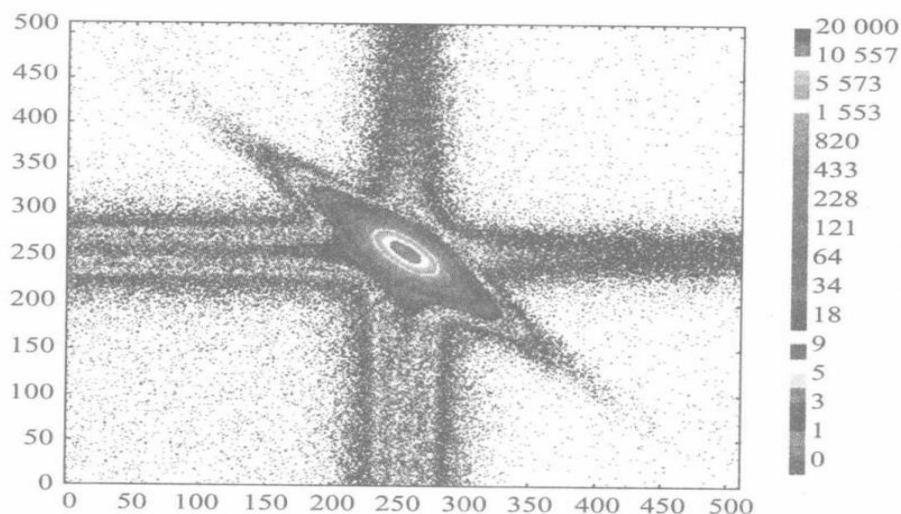


Рисунок 5 – Двухмерный спектр ДУАЛ, полученный с помощью спектрометра ДУАЛ с двумя детекторами [18].

Проецируя данные рисунка 5 в направлении x или y, получим спектр, измеряемый отдельным детектором после совпадения. В результате чего необходимо проводить дальнейшее снижение фона другими методами. В связи с тем, что общая энергия $E_1 + E_2$ двух аннигиляционных γ -квантов составляет 1,022 МэВ, то есть достаточно легко отфильтровать сигналы,

обусловленные неполным собиранием детекторами зарядов и другими факторами. С учетом собственного энергетического разрешения отдельного детектора, $E_1 + E_2$ можно выбрать из определенного диапазона, например, выбрать полосовую область, построенную на центре $2m_0c^2$ (1,022 МэВ) с последующим смещением вверх и вниз на величину в 2 раза больше энергетического разрешения. Исходя из формулы (14) рассчитав разницу энергии $E_1 - E_2$ каждой точки данных в выбранной области и подчитав их снова, получим новый одномерный спектр ДУАЛ. Этот процесс в принципе является процессом проведения проецирования двухмерного спектра в направлении диагонали с верхнего левого угла до нижнего правого угла, т.е. процессом диагонализации.

На рисунке 6 показан спектр ДУАЛ, полученный с помощью двух детекторов после диагонализации, форма которого в основной симметричная и соотношение сигнала/шума которого достигает значение выше 10^5 , т.е. уменьшается более чем на 3 порядка по сравнению с обычным однодетекторным спектром ДУАЛ. Следует учитывать, что с одной стороны, после диагонализации двухмерных данных общее число каналов полученного нового одномерного спектра ДУАЛ, по сравнению с числом каналов в направлении x или y увеличивается вдвое, с другой стороны, для спектра, измеряемого одним детектором, если энергетическое разрешение составляет δE , то после диагонализации ширина (число каналов) функции энергетического разрешения увеличивается на $\sqrt{2}$ раз. В результате чего реальная функция энергетического разрешения уменьшается на $\sqrt{2}$ раз по сравнению с функцией энергетического разрешения одного детектора, т.е. энергетическое разрешение повышается на $\sqrt{2}$ раз [9, 18, 32, 34].

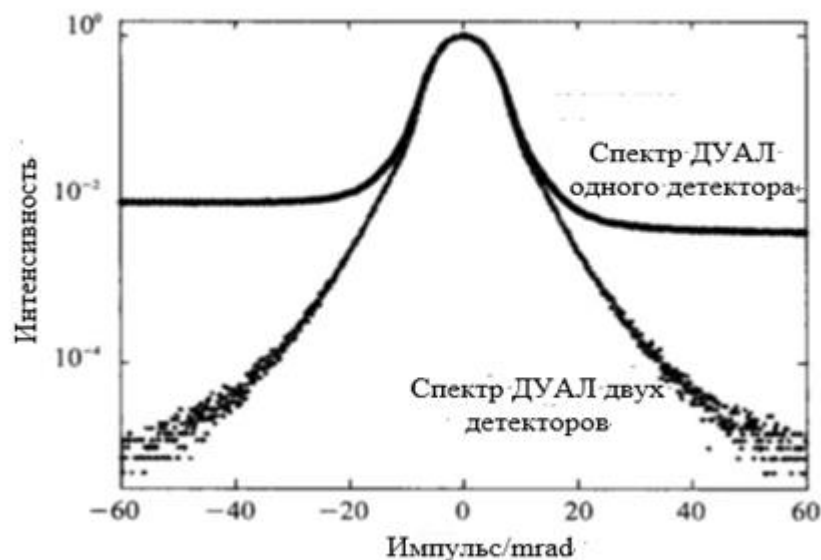


Рисунок 6 – Спектр ДУВЛ с двумя детекторами после диагонализации [18].

2.3.3 Анализ доплеровского уширения аннигиляционных линий (ДУАЛ)

2.3.3.1 Анализ S , W параметров.

Когда импульс позитронно-электронной пары не равен нулю, энергии двух аннигиляционных γ -квантов составляют $E = 511 \text{ кэВ} \pm p_{\parallel}c/2$, где p_{\parallel} – продольное составляющее импульса позитронно-электронной пары. Одним из самых эффективных методов расшифровки ДУАЛ является метод анализа линейных параметров, среди которых выделяются H параметр, W параметр, S параметр и D параметр. Рассмотрим подробно S параметр и W параметр.

$$S = \frac{A_S}{A_0}, \quad (15)$$

где A_S – счет центральной области пика энергией 0,511 МэВ;

A_0 – общий счет целого пика.

Изменение S параметра отражает информацию об аннигиляции позитронов на электронах с низкими импульсами, т.е. на валентных электронах (в металле электронами с низкими импульсами служат электроны проводимости), которые несут информацию о структуре энергетической зоны материала и находящейся в зоне поверхности ферми.

$$W = \frac{A_W}{A_0}, \quad (16)$$

где A_W – счет крайней области пика.

W параметр отражает взаимодействие позитронов с центральными электронами с высокими импульсами. Например, в окрестности дефекта вида вакансии в электронную плотность вносит главный вклад валентные электроны вокруг атомов, в результате чего W параметр уменьшается и соответственно S параметр становится больше. Импульсы центральных электронов несут информацию о свойствах самого атома. Это объясняется тем, что в процессе образования вещества из отдельных атомов, на электроны внешней оболочки происходит общее соединение, но центральные электроны сохраняют информацию о самом атоме [34-38].

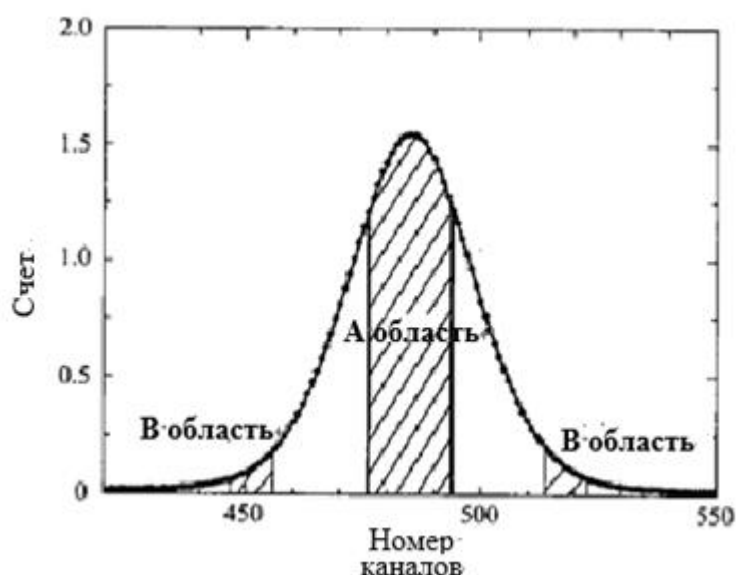


Рисунок 7 – Области определения S параметра и W параметра ДУАЛ.

Для анализа необходимо учитывать фоновый счет. Однако в связи с действием как комптоновского эффекта γ -квантов с энергией 1,28 МэВ (^{22}Na) и 0,511 МэВ, так и других факторов, низкоэнергетическая часть фона спектра ДУАЛ в любом случае выше, чем высокоэнергетическая часть, с учетом чего не следует непосредственно вычитать фоновый счет прямолинейным методом. Mogensen и др. предложили хороший метод вычитания фонового спектра ДУАЛ, при этом фоновый счет B_i выражается следующими образом

[18, 39]:

$$B_i = B_h + (B_l - B_h)A_i/A_t, \quad (17)$$

Где B_h , B_l – средний фоновый счет левой части (низкоэнергетическая часть) и правой части (высокоэнергетическая часть) аннигиляционного пика соответственно;

A_i – общий счет до i – канала аннигиляционного пика;

A_t – общий счет аннигиляционного пика.

Доказано, что такой метод вычитания фона в основном позволяет получить симметричный спектр доплеровского уширения. Как правило, непосредственный анализ изменения S параметра или W параметра позволяет получить информацию о изменении дефектов в материале. Однако в некоторых случаях такой анализ не достаточен, так как иногда ещё требуется узнать изменение типа дефекта или окружающей химической среды, таким образом необходимо одновременно рассматривать и анализировать S параметр и W параметр.

На основе двухкомпонентной модели захвата позитронов, S параметр и W параметр можно выражать следующим образом [18, 40]:

$$\begin{aligned} S &= (1 - f)S_b + fS_d, \\ W &= (1 - f)W_b + fW_d, \end{aligned} \quad (18)$$

где S_b , S_d – S параметры кристаллического и дефектного состояний соответственно;

W_b , W_d – W параметры кристаллического и дефектного состояний соответственно.

$$S = R(W - W_b) + S_b, \quad (19)$$

$R = (S_d - S_b)/(W_d - W_b)$ этот параметр зависит только от вида дефекта, а не от концентрации дефекта. В результате чего можно рисовать S – W кривую [41, 42]. Если измеряемые (S , W) данные находятся на одной прямой линии, то следует, что вид дефектов не изменяется. Тогда как если возникает несколько прямых линий, то означено, что появляются разнообразные дефекты. К тому же, при взаимодействии дефектов и

примесей образуются дефект-примесные комплексы, которые также считаются признаком изменения вида дефекта, что приводит к перелому S–W линии. Для дальнейшего анализа изменения таких дефектов следует использовать ДУАЛ спектрометра с двумя детекторами, который позволяет получить больше информации о дефектах на основе распределения импульсов ядерных электронов высоких импульсов.

2.3.3.2 2 γ /3 γ анализ

Аннигиляция o-Ps производит 3 γ кванты с непрерывно распределяемой от 0 до 511 кэВ энергией, которые отличаются от 511 кэВ пика спектра 2 γ аннигиляции p-Ps и свободных электронов. Интенсивности спектра 3 γ и 2 γ аннигиляций называются $I_{3\gamma}$ и $I_{2\gamma}$ соответственно, которые представляют собой число событий аннигиляции, а не число γ -квантов. В связи с тем, что аннигиляция позитронов и электронов главным образом производит 3 γ и 2 γ кванты, существует следующее отношение между $I_{3\gamma}$ и $I_{2\gamma}$: $I_{3\gamma} + I_{2\gamma} = 100\%$.

В практических измерениях энергетический спектр ДУАЛ получается в результате суперпозиции энергетических спектров нескольких видов γ -квантов. В состав таких спектров входят γ пик с энергией 511 кэВ за счет свободной аннигиляции позитронов и аннигиляции p-Ps, непрерывный энергетический спектр, образованный в связи с эффектом комптоновского рассеяния аннигиляционных γ -квантов, а также непрерывно распределяемый в диапазоне 0~511 кэВ энергетический спектр γ -квантов за счет 3 γ аннигиляции o-Ps. Суперпозиция этих трех энергетических спектров приводит к осложнению непосредственного определения параметра $I_{3\gamma}$. С целью уменьшения влияния пик с энергией 511 кэВ и непрерывного энергетического спектра комптоновского рассеяния, выбирают диапазон 400~500 кэВ из общего энергетического спектра для анализа параметра $I_{3\gamma}$, который позволяет пополнять информацию, полученную с помощью анализа

S параметра спектра ДУАЛ.

Полученный в эксперименте счет 3γ квантов пропорционален интенсивности 3γ аннигиляции, такому отношению подчиняется также интенсивность 2γ аннигиляции, между ними существует такая связь:

$$\frac{I_{3\gamma}}{I_{2\gamma}} = \eta \frac{C_{3\gamma}}{C_{2\gamma}}, \quad (20)$$

Где $I_{3\gamma}$ – интенсивность 3γ аннигиляции;

$I_{2\gamma}$ – интенсивность 2γ аннигиляции;

$C_{3\gamma}$ – счет 3γ квантов в диапазоне 400~500 кэВ энергетического спектра;

$C_{2\gamma}$ – счет 2γ квантов (пик с энергией 511 кэВ).

Из формулы (20) видно, что узнав коэффициент η , могут получить эффективное число событий 3γ и 2γ аннигиляции, т.е. интенсивности. Коэффициент η связан с детектором, который получается на основе анализа различных экспериментальных погрешностей.

При свободной аннигиляции позитронов соотношение выхода 3γ и 2γ составляет 1/378. Однако если часть позитронов образует позитроний, то измеряемое соотношение выхода 3γ и 2γ будет больше 1/378 в связи с тем, что соотношение количества состояний о-Ps и p-Ps составляет 3:1 и о-Ps распадаются на 3γ .

После разработки технологии пучка медленного позитронов позволяет получить спектр аннигиляционных фотонов в случаях без образования позитронии и 100% образования позитронии. На рисунке 8 изображено два спектра аннигиляционных фотонов, измеряемых на поверхности образца чистого алюминия Al (110). При использовании падающих позитронов высокой энергии (15 кэВ) не наблюдается образование позитронии, тогда как при падении позитронов низкой энергии (40 эВ) в образец, температура которого составляет 400°C, получается 100% образование позитронии. Из рисунка 8 видно, что при 100% образовании позитронии в энергетической области меньше 511 кэВ наблюдается высокий

счет. Это объясняется непрерывным спектром 3γ аннигиляции [18, 43].

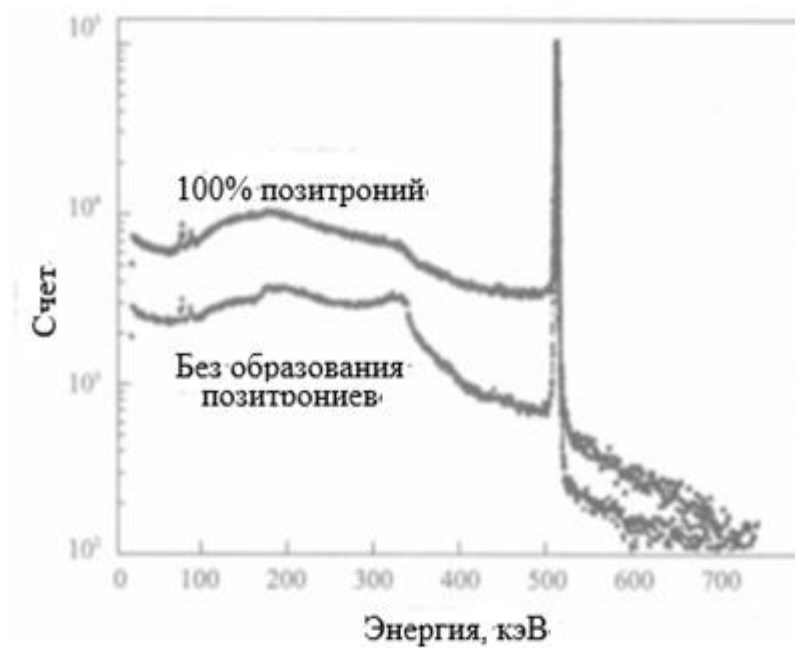


Рисунок 8 – Два спектра аннигиляционных фотонов, измеряемых на поверхности образца чистого алюминия Al (110).

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В процессе поиска источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов, оценка коммерческой ценности работы является необходимым условием. При этом разработчики должны представить настоящее состояние и перспективы проводимых ими научных исследований.

Помимо превышения технических параметров над предыдущими разработками необходимо понимать коммерческую привлекательность научного исследования.

Таким образом, целью данного раздела и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для достижения цели следует решить следующие задачи:

- 1) Определение коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- 2) Планирование научно-исследовательских работ;
- 3) Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам.

Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- 1) технические характеристики разработки;
- 2) конкурентоспособность разработки;
- 3) уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- 4) бюджет разработки;
- 5) уровень проникновения на рынок;
- 6) финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

В качестве конкурентов метода позитронной аннигиляции для исследования свойств полимера ПВДФ (ф) выступает метод атом-силовой микроскопии(к1) и метода просвечивающей электронной микроскопии(к2).

Для оценки конкурентности использованы следующие критерии:

- 1) Энергоэкономичность – затрата прибора на электрическую энергию;
- 2) Уровень шума – шум машины оказывает негативное влияние на здоровья человека, чем меньше уровень шума при осуществлении эксперимента, тем лучше метод;
- 3) Безопасность – приборы и материалы возможно опасны для человека, например, источник позитронов обладает радиоактивностью, атом-силовой микроскоп производит электрическое поле вокруг человека;
- 4) Простота эксплуатации – эта критерия связана с количеством этапов проведения исследования;

5) Качество интеллектуального интерфейса – в процессе проведения исследования какой дозой работы занимаются машины или компьютер, например, современная специальная программа MELT позволяет точно и быстро обрабатывать полученные данные времени жизни позитронов;

6) Ремонтопригодность приборов – сложность ремонта приборов;

7) Потребность в материальных ресурсах – количество образцов, необходимое для проведения исследования и получения результатов;

8) Детектирование дефектов порядка нанометров в полимерах –

9) Простота анализа данных – количество данных, средство для анализа данных и количество информации, которые надо получить из данных для определения структуры полимеров;

10) Количество и степень влияния внешних факторов на полученные результаты – чем меньше количество и степень влияния внешних факторов на полученные результаты, тем точнее результаты и более простая эксплуатация метода. Например, на качество спектра временного распределения аннигиляционной линии влияние оказывают временное разрешение сцинтиллятора, при измерении поверхностной структуры материалов с различной степенью гладкости методом атом-силовой микроскопии необходимо использовать различные модель измерения.;

11) Стоимость прибора для осуществления метода;

12) Определение дефектов в объеме полимеров – это позволяет получить более полную информацию о структуре полимеров.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							

1. Энергоэкономичность	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
2. Уровень шума	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
3. Безопасность	0,15	4	5	5	0,6	0,75	0,75
4. Простота эксплуатации	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
5. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
6. Ремонтопригодность приборов	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
7. Потребность в материальных ресурсах	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
8. Детектирование дефектов порядка нанометров в полимерах	0,15	5	2	2	0,75	0,3	0,3
9. Простота анализа данных	0,1	3	2	2	0,3	0,2	0,2
10. Количество и степень влияния внешних факторов на полученные результаты	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
11. Стоимость прибора для осуществления метода	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
12. Определение дефектов в объеме полимеров	0,05	5	0	4	0,25	0	0,2
итого	1				4,2	3,2	3,6

Из оценочной карты видно, что по способности детектирования дефектов и простоте эксплуатации, а также по общей конкурентности метод позитронной аннигиляции значительно преобладает над методом атом-силовой микроскопии (к1) и методом просвечивающей электронной микроскопии(к2).

5.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды выполняемого научного исследования был проведён SWOT-анализ. SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы).

В таблице 11 представлена матрица SWOT.

Таблица 11 – Матрица SWOT.

Сильные стороны	Слабые стороны
<p>С1. Актуальность тематики.</p> <p>С2. Заявленная экономичность технологии.</p> <p>С3. Квалифицированный персонал.</p> <p>С4. Наличие полученных результатов и выводов.</p> <p>С5. Неразрушающий контроль материалов.</p> <p>С6. Чувствительность к изменению концентрации дефектов порядка нанометров в материалах.</p> <p>С7. Определение дефектов в объеме полимеров.</p> <p>С8. Детектирование дефектов размера 0,1–1 нм.</p>	<p>Сл1. Недостаточное количество измерений.</p> <p>Сл2. Недостаточная активность у источника позитрона.</p> <p>Сл3. Большой срок экспериментального периода.</p> <p>Сл4. Отсутствие источника медленных позитронов.</p> <p>Сл5. Отсутствие работников, умеющих работать с программой MELT.</p>
Возможности	Угрозы
<p>В1. Использование источника, имеющего большую радиоактивность.</p> <p>В2. Возможность появления новых условий измерений.</p> <p>В3. Использование инфраструктуры ТПУ.</p>	<p>У1. Недостаток финансового обеспечения научного исследования со стороны государства</p> <p>У2. Разработанная новая технология атом-силовой микроскопии, позволяющая исследовать дефектов в объеме полимеров.</p>

<p>В4. Использование источника медленных позитронов в немецкой фирме.</p> <p>В5. Возможность работать вместе с университетом Ухань, в котором используют спектрометр позитронной аннигиляции новой серии.</p> <p>В6. Полученный результаты откроют новое направление в исследованиях полимеров.</p>	<p>У3. Проведение подобных экспериментов в других учебных заведениях.</p>
---	---

Использование интерактивной матрицы помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей SWOT. Интерактивные матрицы проекта представлена в таблицах 12-15.

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0»– если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 12 – Интерактивная матрица проекта.

Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	B1	0	+	-	-	+	+	+	+
	B2	0	+	+	+	+	+	+	-
	B3	+	+	+	+	-	-	-	-
	B4	+	+	+	+	-	+	+	+
	B5	+	+	+	+	0	+	0	0
	B6	-	-	+	+	-	+	+	+

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	+	+	-	-
	B2	+	-	+	-	-
	B3	+	+	+	-	-
	B4	-	-	-	+	-

	B5	+	+	+	-	+
	B6	-	-	-	-	-

Таблица 14 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта									
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	У1	+	+	+	-	-	-	-	-
	У2	-	-	0	+	+	+	+	+
	У3	-	-	+	-	-	-	-	-

Таблица 15 – Интерактивная матрица проекта

Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	0	+	-
	У2	+	+	+	+	0
	У3	+	+	-	+	+

В таблице 16 составлена итоговая матрица SWOT-анализа.

Таблица 16 – SWOT-анализ.

	<p>Сильные стороны</p> <p>С1. Актуальность тематики.</p> <p>С2. Заявленная экономичность технологии.</p> <p>С3. Квалифицированный персонал.</p> <p>С4. Наличие полученных результатов и выводов.</p> <p>С5. Неразрушающий контроль материалов.</p> <p>С6. Чувствительность к изменению концентрации дефектов порядка нанометров в материалах.</p> <p>С7. Определение дефектов в объеме полимеров.</p> <p>С8. Детектирование дефектов размера 0,1–1 нм.</p>	<p>Слабые стороны</p> <p>Сл1. Недостаточное количество измерений.</p> <p>Сл2. Недостаточная активность у источника позитрона.</p> <p>Сл3. Большой срок экспериментального периода.</p> <p>Сл4. Отсутствие источника медленных позитронов.</p> <p>Сл5. Отсутствие работников, умеющих работать с программой MELT.</p>
--	---	---

<p>В1. Использование источника, имеющего большую радиоактивность.</p> <p>В2. Возможность появления новых условий измерений.</p> <p>В3. Использование инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В4. Использование источника медленных позитронов в немецкой фирме.</p> <p>В5. Возможность работать вместе с университетом Ухань, в котором используют спектрометр позитронной аннигиляции новой серии.</p> <p>В6. Полученный результаты откроют новое направление в исследованиях полимеров.</p>	<p>В3В4В5С3С4 – используя инфраструктуры ТПУ, немецкой фирмы и университета Ухань, на основе существующих результатов и ресурсов квалифицированного персонала получить новые результаты исследования, разработать новые продукты и привлекать финансовые ресурсы.</p>	<p>В2В5Сл1 – С помощью новых условий измерений и другого современного прибора в университете Ухань возможно увеличить количество измерений.</p> <p>В4Сл4 – Немецкая фирма может предоставить источник медленных позитронов.</p> <p>В5Сл5 – В университете есть специалист, способный работать с программой MELT/</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Недостатки финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p> <p>У2. Разрабатывают новую технологию атом-силовой микроскопии,</p>	<p>С1С2С3У1 -Актуальность тематики, экономичность технологии и квалифицированный персонал может привлекать государственные финансовые ресурсы.</p> <p>С5С6С7С8У2 – Метод позитронной аннигиляции преобладает над методом</p>	<p>У1Сл4– Привлечение государственных финансовых ресурсов и усиление сотрудничества с немецкой фирмой.</p> <p>У2Сл4–С помощью источника медленных позитронов немецкой фирмы, начать исследование</p>

<p>позволяющую исследовать дефектов в объеме полимеров.</p> <p>УЗ. Проведение подобных экспериментов в других учебных заведениях.</p>	<p>атом-силовой микроскопии тем, что он не разрушает ни поверхности, ни объема материала, а также он позволяет детектировать дефекты в 0,1-1нм.</p> <p>СЗУЗ</p> <p>-Квалифицированный персонал кафедры владеет как богатыми знаниями о методе позитронной аннигиляции и материаловедении, так и отличной способностью осуществлять ряд сложных исследований, поэтому это может способствовать обойти конкурентов в области новых исследований.</p>	<p>распределения дефектов по глубине (объеме) материала.</p> <p>УЗСл5 – усилить сотрудничество с университетом Ухань, пытаться работать с программой MELT, которая более точно обрабатывает спектра.</p>
---	--	--

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества используемого метода преобладают над его недостатками по сравнению с другими методами, при этом следует обратить внимание на следующие преимущества метода позитронной аннигиляции, такие как неразрушающий контроль материалов, чувствительность к изменению концентрации дефектов порядка нанометров в материалах, определение дефектов в объеме полимеров, и детектирование дефектов размера 0,1~1 нм. Эти сильные стороны позволяют в большой степени устранить угрозы. К тому же, тесная связь нашей кафедры с немецкой фирмой и университетом Ухань помогает легко преодолеть слабые стороны самого метода.

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

Для выполнения и планирования данной работы по теме исследования влияния облучения α частицами на свойства ПВДФ методом позитронной

аннигиляции, сначала нужно ее разделить на несколько частей, то есть различные этапы:

1) Подготовительный этап. Выбор темы; изучение, анализ информации по выбранной теме. Техничко-экономическое обоснование целесообразности проведения исследований по данной теме. Определение рабочей группы;

2) Формирование теоретической части.

3)Выявление возможных направлений исследования;

4) Проведение экспериментов по теоретической части;

5) Количественная оценка экспериментального исследования, выбор параметров, проведение численного моделирования;

6) Корректировка разработанных параметров после получения результатов эксперимента;

7) Выводы и предложения по теме, обобщение результатов разработки;

8) Составление технологического отчета;

9) Завершающий этап. Проведение анализа результатов исследования всей рабочей группы. Утверждение результатов работы. Подготовка отчетной документации.

5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Выдача задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение теории и материалов по теме	инженер
	3	Выбор направления исследования	инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Разработка системы для анализа свободных объемов в ПВДФ методами позитронной аннигиляций	инженер
Практические вопросы	5	Планирование проверки разработанной системы	Руководитель, инженер
Проектные работы	6	Проверочный эксперимент	инженер
	7	Исследование эталонного образца	инженер
	8	Исследование образцов, облученных α частицами различной дозы.	инженер
Обсуждение результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер
	10	Определение целесообразности проведения НИР	Руководитель инженер
Оформление отчета	11	Составление пояснительной записки	инженер
Защита отчета	12	Подготовка защиты ВКР	инженер

5.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для выполнения научных исследований была сформирована рабочая группа, в состав которой входили преподаватель и инженер (магистр). По каждому виду работ устанавливалась соответствующая должность исполнителя.

Важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Ожидаемое значение трудоемкости:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{min} + 2t_{max i}}{5}, \quad (33)$$

где $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы;

t_{\min} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы.

Для обоснованного расчета заработной платы необходима продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p ,

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (34)$$

где $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе.

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Для планирования НТИ была выбрана диаграмма Ганта. Она представляет собой тип столбчатых диаграмм(гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (35)$$

Коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 105 - 13} = 1,48$$

Где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.







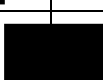
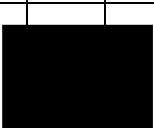







Все рассчитанные значения представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Временные показатели проведения научного исследования

Названи е работы	Трудоемкость раб от			Исполнител и	Длительнос ть работ в рабочих днях T_{pi}	Длительнос ть работ в календарны х днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дн и	$t_{max i}$	$t_{ож i}$			
1	1	2	1,4	Руководител ь	1,4	2
2	12	20	15,2	инженер	15,2	23
3	2	5	3,2	инженер	3,2	5
4	4	7	5,2	инженер	5,2	8
5	4	7	5,2	Руководител ь, инженер	2,6	4
6	5	8	6,2	инженер	6,2	10
7	7	12	9	инженер	9	14
8	12	16	13,6	инженер	13,6	21
9	1	2	1,4	Руководител ь, инженер	0,7	1
10	3	5	3,8	Руководител ь инженер	1,9	3
11	7	12	9	инженер	9	14
12	7	12	9	инженер	9	14

График строится в виде таблицы 19 с разбивкой по месяцам за период времени полтора выполнения научного проекта. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 19 – Календарный план-график проведения НИРМ по теме

Этапы и подэтапы		Содержаниеработ	Т _к , кал.дн.	Время выполнения работ													
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь		
1	1	Составление и утверждение технического задания	2														
2	2	Подбор и изучение теории и материалов по теме	23														
	3	Выбор направления исследования	5														
3	4	Разработка системы для анализа свободных объемов в ПВДФ методами позитронной аннигиляций	8														
4	5	Планирование проверки разработанной системы	4														
5	6	Проверочный эксперимент	10														
	7	Исследование эталонного образца	14														
	8	Исследование образцов, облученных α частицами различной дозы.	21														
6	9	Оценка эффективности полученных результатов	1														
	10	Определение целесообразности проведения НИР	3														
7	11	Составление пояснительной записки	14														
	12	Подготовка защиты ВКР	14														
Итого дней			119		– научный руководитель,					– инженер,				– руководитель +инженер.			

5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета научного исследования учитывается полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе данного исследования формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- а) материальные затраты НТИ;
- б) основная заработная плата исполнителей темы;
- в) дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- г) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- д) накладные расходы.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения научной работы. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$З_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх } i}, \quad (36)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх } i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м^2 и т.д.);

Π_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ м^2 и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (15-25%) от стоимости материалов. от стоимости материалов).

Стоимость всех материальных затрат, используемых при разработке проекта приведена в таблице 20.

Таблица 20 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Техническая документация	шт	1	2000	2000
Канцелярские товары	шт	5	100	500
Компьютер	шт	1	45000	45000
Всего за материалы				47500
Транспортно-заготовительные расходы (20%)				9500
Итого по статье $З_M$				57000

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Амортизационное отчисление рассчитано по следующей формуле:

$$A = \frac{C_{\text{перв}} \times N_a}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \times T_{\text{раб-обор}}, \quad (37)$$

где $C_{\text{перв}}$ – первоначальная стоимость оборудования;

N_a – норма амортизационных отчислений (в процентах);

$T_{\text{раб-обор}}$ – количество рабочих дней использования оборудования.

В этапах научной работы 6, 7, 8 использованы спектрометр и источник позитронов. Из таблицы 9 получено:

$$T_{\text{раб-обор}} = 6,2 + 9 + 13,6 = 28,8$$

N_a для спектрометра и источника позитронов составляет около 10~15% , принимаем $N_a = 12\%$ для спектрометра, $N_a = 15\%$ для источника позитронов. Таким образом, для спектрометра

$$A = \frac{3500000 \times 12\%}{365 - 105 - 13} \times 28,8 = 48971,7 \text{ руб}$$

для источника позитронов:

$$A = \frac{500000 \times 15\%}{365 - 105 - 13} \times 28,8 = 8744,9 \text{ руб}$$

Таблица 21 – Амортизационное отчисление оборудования.

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Процент амортизации, %	Амортизационное отчисление, руб
Спектрометр	шт	1	3500000	12	48971,7
Источник позитронов	шт	1	500000	15	8744,9
Итого					57716,6

Заработная плата

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (38)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (39)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (40)$$

Где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 22).

Таблица 22 – баланс рабочего времени.

Показатели рабочего времени	Руководитель	инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни;	53	105
– праздничные дни	13	13
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	48	24
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{ок} \cdot k_p, \quad (41)$$

где $Z_{ок}$ – заработная плата по окладу, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Руководителем данной научно-исследовательской работы является сотрудник с должностью ассистента и ученой степенью кандидата технических наук, заработная плата по окладу которого составляет 20800 рублей.

$$Z_m = Z_{тс} \cdot k_p = 20800 \cdot 1,3 = 27040 \text{ руб.}$$

Следовательно, можно получить среднедневную заработную плату научного руководителя:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{27040 \cdot 10,4}{251} = 1120,38 \text{ руб.}$$

А основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} = 1120,38 \cdot 6,6 = 7394,51 \text{ руб.}$$

Инженер во время прохождения преддипломной практики получает оклад, равный 9489 руб/месяц. Среднедневная зарплата составляет:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{9489 \cdot 1,3 \cdot 11,2}{223} = 619,55 \text{ руб.}$$

Основной заработок инженера, за время преддипломной практики, равен:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} = 619,55 \cdot 75,6 = 46837,98 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10~15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$З_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (42)$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Дополнительная заработная плата руководителя:

$$З_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 7394,51 \cdot 0,12 = 887,34 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата инженера:

$$З_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 46837,98 \cdot 0,12 = 5620,56 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (43)$$

Где $K_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды($K_{\text{внеб}} = 0,271$).

Для научного руководителя отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,271 \cdot (7394,51 + 887,34) = 2244,38 \text{ руб.}$$

Для инженера отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,271 \cdot (46837,98 + 5620,56) = 14219,26 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (44)$$

где $K_{\text{накл}}$ – Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Примем $K_{\text{накл}} = 30 \%$.

Для научного руководителя накладные расходы:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (7394,51 + 887,34) = 2484,56 \text{ руб.}$$

Для инженера отчисления во внебюджетные фонды:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (46837,98 + 5620,56) = 15737,56 \text{ руб.}$$

Полученный расчет бюджета затрат представлен в таблице 23.

Таблица 23 – Расчет бюджета затрат.

Наименование статьи	Научный руководитель руб.	Инженер руб.	Итого руб.
Материальные затраты	-	57000	57000
Амортизационное отчисление оборудования	-	57716,6	57716,6
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	7394,51	46837,98	54232,49
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	887,34	5620,56	6507,9
Отчисления во внебюджетные фонды	2244,38	14219,26	16463,64

Накладные расходы	2484,56	15737,56	18222,12
Бюджет затрат	13010,79	197131,96	210142,75

5.5 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей и задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически: у каждого участника проекта есть непосредственный руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель).

Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 19.



Рисунок 19 – Организационная структура научного проекта

5.6 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 24.

Таблица 24– Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соответственность»	Консультант по языковому разделу	Студент
Составление и утверждение технического задания	О				
Подбор и изучение теории и материалов по теме	С				И
Выбор направления исследования	О				
Разработка системы для анализа свободных объемов в ПВДФ методами позитронной аннигиляций	С				И
Планирование проверки разработанной системы	С				И
Проверочный эксперимент					И
Исследование эталонного образца					И
Исследование образцов, облученных α частицами различной дозы.					И
Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
Выполнение раздела по социальной			С		И

ответственности					
Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
Оценка эффективности полученных результатов	С				И
Определение целесообразности проведения НИР	С				И
Составление пояснительной записки	С				И
Подготовка защиты ВКР	О				И

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- 1) ответственный (О)– лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- 2) исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта.
- 3) Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);
- 4) согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

5.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более)

вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 3.12). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (45)$$

где I_{Φ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{210142,75}{210142,75} = 1$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{229055,60}{210142,75} = 1,09$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{max}} = \frac{250069,87}{210142,75} = 1,19,$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (46)$$

где I_m^a – интегральный показатель ресурсоэффективности для аналога;

I_m^p – интегральный показатель ресурсоэффективности для разработки;

a_i – весовой коэффициент i-го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i-го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Позволяет получить полную информацию о структуре полимера ПВДФ	0.3	4	4	3
2. Удобство в эксплуатации измерения структуры полимера ПВДФ	0.1	5	2	3
3. Помехоустойчивость спектрометра	0.15	4	3	3
4. Энергосбережение спектрометра	0.15	4	4	3
5. Надежность полученных данных	0.25	5	4	4
6. Затраты на полимер ПВДФ	0.05	4	4	4
ИТОГО	1	4,35	3,65	3,3

$$I_{\text{тп}} = 4 * 0,3 + 5 * 0,1 + 4 * 0,15 + 4 * 0,15 + 5 * 0,25 + 4 * 0,05 = 4,35$$

$$\text{Аналог 1} = 4 * 0,3 + 2 * 0,1 + 3 * 0,15 + 4 * 0,15 + 4 * 0,25 + 4 * 0,05 = 3,65$$

$$\text{Аналог 2} = 3 * 0,3 + 3 * 0,1 + 3 * 0,15 + 3 * 0,15 + 4 * 0,25 + 4 * 0,05 = 3,3$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{\text{финр}}^p$) и аналога ($I_{\text{финр}}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^P = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} \cdot I_{\text{фина}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a}, \quad (47)$$

В результате

$$I_{\text{финр}}^P = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,35}{1} = 4,35;$$

$$I_{\text{фина1}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\phi}^{a1}} = \frac{3,65}{1,09} = 3.35;$$

$$I_{\text{фина2}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\phi}^{a2}} = \frac{3,3}{1,19} = 2.77;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^P}{I_{\text{фина}}^a}, \quad (48)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{\text{финр}}^P$ – интегральный показатель эффективности разработки; $I_{\text{фина}}^a$ – интегральный показатель эффективности аналога.

Таблица 26 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,09	1,19	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,65	3,3	4,35
3	Интегральный показатель эффективности	3.35	2.77	4,35
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,3	1,57	1

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения

поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Вывод

При планировании научно-исследовательской работы был произведен подсчет бюджета исследования. В процессе формирования бюджета были использованы группировки по материальным затратам (57000 руб), по амортизационному отчислению оборудования (57716,6 руб), затратам по основной заработной плате исполнителей (54232,49 руб), затратам по дополнительной заработной плате (6507,9 руб), отчислениям во внебюджетные фонды (16463,64 руб) и накладным расходам (18222,12 руб). Всего бюджет составил 210142,75 руб. Основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

6. Социальная ответственность

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

В данной работе рассмотрен спектрометр для измерения позитронной спектра, который является лабораторной установкой. Радиоактивный материал, который может быть использован в качестве источника позитронов, помещает на рабочем месте.

При проектировании лаборатории необходимо уделить внимание и охране окружающей среды, а в частности, организации безотходного производства.

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Так как лаборатория находится в городе Томске, наиболее типичной ЧС является мороз. Так же, в связи с неспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.

6.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

В нашей лаборатории, различные оборудования, а также используемые ^{44}Ti в качестве источника позитронов, могут делать следующие вредные факторы: не комфортные метеоусловия, вредные вещества, низкая температура и т.д.

6.1.1 Метеоусловия

Основными факторами, характеризующими микроклимат производственной среды, являются температура, подвижность воздуха и влажность. Эти параметры из нормы приводят к ухудшению благосостояния

работника, снижению производительности труда и возникновению различных заболеваний.

Работа в условиях повышенной температуры, сопровождающаяся усилением потоотделения, что приводит к обезвоживанию, потере минеральных солей и водорастворимых витаминов, вызывает серьезные и стойкие изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы, увеличивает частоту дыхания, а также влияет на функционирование Другие органы и системы - ослабляются. Внимание, координация движений ухудшается, реакция замедляется и т. Д. При работе на газоанализаторе важно отметить, что запрещено прикасаться к сильно нагретым элементам экспериментального комплекса.

Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха, способствует перегреву организма, а при низкой температуре, тепло передается с поверхности кожи, что приводит к переохлаждению. Низкая влажность вызывает неприятные ощущения в виде сухости слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые метеорологические условия для температуры и влажности устанавливаются в соответствии с СанПин 2.2.4.548-96, который представлен в таблице 27.

Таблица 27 – Оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений (СанПиН 2.2.4.548-96)

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia(до139)	22-24	60-40	0,1

Теплый	Ia(до139)	23-25	60-40	0,1
--------	-----------	-------	-------	-----

Для удобства работы в помещении параметры микроклимата должны быть нормализованы. Необходимо применять защитные меры для технологий и средств защиты от высоких и низких температур, систем отопления и вентиляции.

6.1.2 Радиоактивность

Источник для получения позитронов является ^{44}Ti .

^{44}Ti (Изотопы титана) - твердое тело, изотоп неустойчивый, с периодом полураспада 59 лет. Он распадается на изотоп ^{44}Ca , который представляет собой 2% -ную примесь к элементарному кальцию. Этот распад и, следовательно, нуклеосинтез ^{44}Ti считается доминирующим, если не единственным, производственным каналом для ^{44}Ca ; Поэтому исследование космического ^{44}Ti может показать, как образуется космический Кальций.

Согласно действующим в РФ нормам РБ организационными мероприятиями, обеспечивающими радиационную безопасность работ, являются:

- оформление работы нарядом или распоряжением;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерывов в работе;
- оформление окончания работы.

6.1.3 Освещенность

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при

постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 6$ м, ширина $B = 3$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B, \quad (49)$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 6 \times 3 = 18 \text{ м}^2.$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{\Pi} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым

выделением пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{\text{ЛД}} = 2600$ Лм. Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне $1,1 \sim 1,3$. Принимаем $\lambda = 1,3$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (50)$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,3 = 2,2 \text{ м},$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,3 \cdot 2,2 = 2,9 \text{ м},$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{3}{2,9} = 1,03 \approx 1,$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{6}{2,9} = 2,06 \approx 2,$$

Общее число светильников:

$$N = N_a \cdot N_b = 2 \cdot 1 = 2,$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{2} = \frac{2,9}{2} = 1,45 \text{ м},$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 20 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

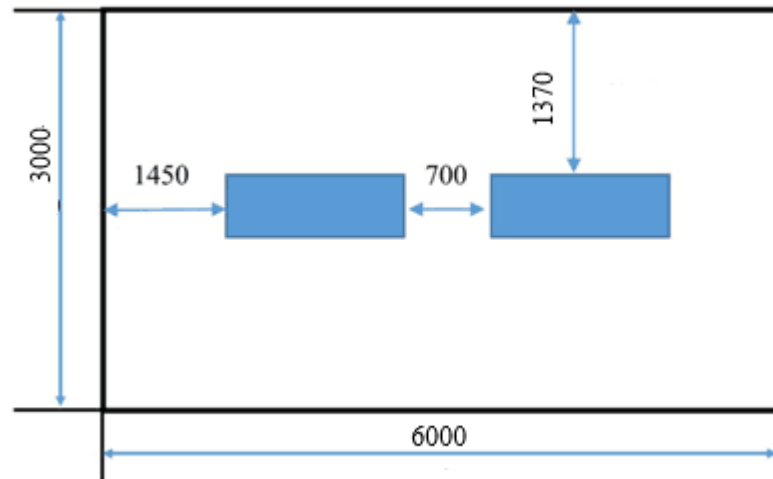


Рисунок 20 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,47$.

Тогда число ламп в помещении:

$$N = \frac{E_n \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{\Phi_{\text{ЛД}} \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 18 \cdot 1,1}{2600 \cdot 0,47} = 3,6,$$

Расчет искусственного освещения показал, что нужно 4 лампы для освещения, т.е. 2 светильников ОДОР-2-40.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{П}} = \frac{E \times A \times B \times K_3 \times Z}{N \times \eta} = \frac{150 \times 6 \times 3 \times 1,5 \times 1,1}{4 \times 0,47} = 2369,68 \text{ лм},$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{2600 - 2369,68}{2600} \cdot 100\% = 8,86\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq 8,86\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

6.1.4 Электрическое напряжение

Воздействие электрического напряжения на человека связано с протеканием через него тока. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый неотпускающий ток составляет при 50 Гц 6~16 мА. Защита от воздействия электрического тока осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебной-профилактических мероприятий.

При поражении работника электрическим током необходимо как можно скорее освободить пострадавшего от воздействия электрического тока, проверить состояние пострадавшего и вызвать при необходимости скорую помощь, до приезда скорой помощи оказать пострадавшему необходимую первую помощь или, при необходимости, организовать доставку пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение, о произошедшем несчастном случае поставить в известность руководителя структурного подразделения.

6.1.5 Воздействие низкой температуры

Запрещается пить жидкий азот, а также необходимо одевать перчатки, во избежание получения обморожения при заливке жидкого азота.

6.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

6.2.1 Факторы электрической природы

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от

вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

1) Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

2) Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

3) Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием оборудования свыше 1000 В и одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности. Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям.

Лаборатория относится к помещению с особой опасностью поражения электрическим током. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и

ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Основными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением выше 1000 В являются изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ (площадки, изолирующие звенья телескопических вышек и пр.).

Работать со штангой разрешается только специально обученному персоналу в присутствии лица, контролирующего действия работающего. При операциях с изолирующей штангой необходимо пользоваться дополнительными изолирующими защитными средствами – диэлектрическими перчатками и изолирующими основаниями (подставками, ковриками) или диэлектрическими ботами.

Изолирующие клещи применяют в электроустановках до 35 кВ для операций под напряжением с плавкими вставками трубчатых предохранителей, а также для надевания и снятия изолирующих колпаков на ножи однополюсных разъединителей.

При пользовании изолирующими клещами оператор должен надевать диэлектрические перчатки и быть изолированным от пола или грунта; при смене патронов трубчатых предохранителей он должен быть в очках. Клещи нужно держать в вытянутых руках..

К дополнительным изолирующим электрозащитным средствам относятся диэлектрические перчатки, боты, резиновые коврики и дорожки, изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах и переносные заземления. Освобождение пострадавшего от действия тока напряжением свыше 1000 В может быть произведено только одним способом. Это отключение соответствующей части электрической установки специально

обученными людьми. Пострадавшему следует оказать посильную доврачебную помощь.

6.2.2 Факторы пожарной и взрывной природы

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории А_н, Б_н, В_н, Г_н и Д_н.

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В – горючие и трудногорючие жидкости; твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные взаимодействовать с кислородом воздуха.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

- 1) халатное неосторожное обращение с огнем (оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);
- 2) утечка метана (при концентрации в воздухе от 4,4 % до 17 % метан взрывоопасен).

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- 1) использование только исправного оборудования;

2) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;

3) отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;

4) курение в строго отведенном месте;

5) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рисунок 21).

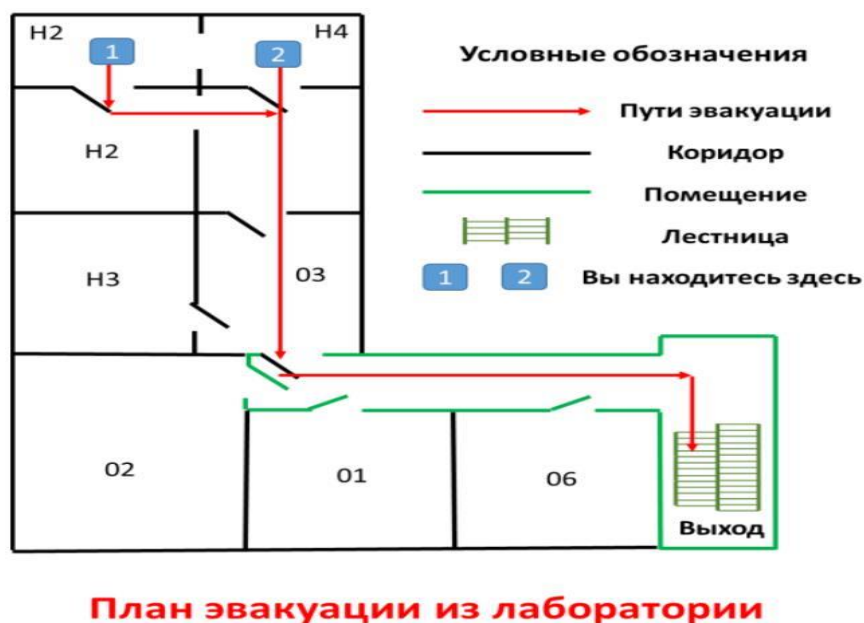


Рисунок 21 – Пути эвакуации.

6.3 Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

Для перехода к безотходным производствам в лаборатории необходимо осуществлять сбор водорода в специальные емкости (в настоящее время он выпускается в воздух).

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

Лабораторная работа всегда связана с постоянным образованием различных отходов: отходы инструмента, технологической оснастки, абразивных материалов, отходы бумаги и т.д.

При работе с установкой спектрометров ЭПА возможно образование отходов: бумага, полимер ПВДФ и металл (Pb). Бумагу используют для записи результатов экспериментов, полимеры ПВДФ являются экспериментальными образцами. Эти отходы могут вызвать загрязнение литосферы. Для охраны поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения, можно использовать бумагу и полимер повторно и перерабатывать отходы металлов методом повторного изготовления.

6.4 Защита в ЧС

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют. Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности. Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве.

Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

Для обеспечения безопасности перед началом работы необходимо правильно надеть спецодежду, подготовить для работы необходимый инструмент и приспособления, приготовить рабочий стол. Также необходимо проверить отсутствие внешних повреждений электрооборудования, наличие и исправность контрольных, измерительных и сигнальных приборов, компьютера, тумблеров, переключателей и т.п. При выявлении неисправностей, не допускается проводить ремонт самостоятельно, необходимо доложить руководителю лаборатории. Наладка прибора и его ремонт осуществляется только сервис-инженерами.

Запрещается приступать к работе, если выявлены неисправности любого используемого оборудования, если истек срок очередного освидетельствования баллона, истек срок проверки манометра, если персонал не прошел в установленном порядке обучение и проверку знаний безопасности труда.

Работа с установкой спектрометров ЭПА должна производиться в чистом помещении, свободном от пыли, паров, кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающий коррозию. Недопустимо наличие открытого огня около прибора. После окончания работы с установкой необходимо:

- 1) Закрыть вентили газовых баллонов;
- 2) Убедиться, что все клапаны контроллера закрыты;
- 3) Выйти из программы, отключить питание компьютера;
- 4) Отключить установку спектрометров ЭПА и насос от электросети;
- 5) Проверить целостность газовых баллонов, их закрепление, отсутствие утечки газа.

При обнаружении неисправной работы установки спектрометров ЭПА необходимо прекратить работу, выйти из программы, собирать

радиоактивные источники, отключить питание компьютера, установку спектрометров ЭПА от электросети и известить об этом руководителя.

При возникновении возгорания необходимо немедленно прекратить работу, отключить электрооборудование, собирать радиоактивные источники, позвонить в подразделение пожарной охраны по телефону 01 или 010, сообщить о случившемся руководителю подразделения и приступить к тушению огня первичными средствами пожаротушения.

6.5 Особенности законодательного регулирования проектных решений

К работе на установки спектрометров ЭПА допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинские противопоказания, прошедшие обучение безопасности труда и инструктаж на рабочем месте.

К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний норма и правил работы с электроустановками, правил безопасности работы с газовыми баллонами, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы на установки спектрометров ЭПА, имеющие не менее II группы по электробезопасности и получившие допуск к работе с газовыми баллонами.

Повторная проверка знаний норм и правил электробезопасности, правил безопасной работы с газовыми баллонами проводится с работниками не реже 1 раза в 12 месяцев, повторный инструктаж на рабочем месте – не реже 1 раза в 3 месяца

Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в Журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктаж, с указанием даты проведения инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж.

По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы:

- 1) инструкция № 2-25 по охране труда при выполнении работ на установки спектрометров ЭПА;
- 2) инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 2000 В;
- 3) инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением.

Документы по воздействию ПЭВМ:

- 1) инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ;
- 2) СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы;
- 3) ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности;
- 4) ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;
- 5) ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.

Микроклимат:

- 1) ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные помещения. Параметры микроклимата в помещении;
- 2) ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
- 3) СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

6.5 Графические материалы

- 1) Освещенность на рабочем месте

2) Пути эвакуации

6.6 Заключение

В ходе рассмотрения безопасности и гигиены труда при осуществлении работ по исследованию влияния облучения α частицами на свойства мембран ПВДФ с помощью установки для получения спектра временного распределения аннигиляционных позитронов, были выявлены вредные и опасные факторы рабочей зоны, причины и средства защиты, рассмотрены чрезвычайные ситуации и поведение в них.

Заключение

В результате проделанной работы рассмотрены теоретические основы методов позитронной аннигиляции и технология их реализации, а также их применение для исследования полимерных материалов. Проведены теоретические расчеты поглощенной дозы и флюенса α -частиц в образцах пленок ПВДФ, толщиной 20 мкм, подвергнутых облучению на ускорителе Р-7М ФТИ ТПУ при плотности тока пучка 0.05 мкА/см². Разработан способ измерения временного распределения аннигиляции позитронов на основе радиоизотопа ⁴⁴Ti для проведения исследования структурного изменения образцов ПВДФ при облучении ионами гелия. Проведены анализа ВРАП и рентгеноструктурного анализа образцов ПВДФ в зависимости от поглощенной дозы.

Основываясь на результатах исследований, показано, что ПВДФ обладает высокой стойкостью к радиационному облучению, с увеличением поглощенной дозы свободный объем сначала уменьшается, потом сначала остается постоянным, а затем немного увеличивается. Степень кристаллизации при низкой поглощенной дозе не изменяется и при дальнейшем росте дозы сначала повышается, а затем снижается. Что связано с движением и сшиванием сегментов молекулярных цепей в некристаллической области при низкой поглощённой дозе и деградацией длинных молекулярных цепей при высокой поглощенной дозе.

По полученным результатам можно сделать следующий вывод: высокая чувствительность аннигиляционной спектроскопии позитронов позволила успешно исследовать изменение микроструктуры полимерной пленки ПВДФ после облучения ионами гелия. Различные спектроскопические параметры аннигиляции позитронов (такие как время жизни и интенсивность позитронов) зависят от состояния электронов, участвующих в аннигиляции, и доступных свободных объемов. Результаты рентгеноструктурного анализа подтвердили результаты, полученные с

помощью спектроскопии аннигиляции позитронов. Интерпретация и анализ данных основаны на теории сшивания или деградации молекулярных цепей (образовании или разложении C–C связей) ПВДФ.

Список используемых источников

- 1 Jean Y.C. Microchemical [J]., 1990. 42:72
- 2 Лаптев Роман Сергеевич. Разработка метода аннигиляции позитронов для контроля дефектной структуры в системах металл-водород. Томск: Приборы и методы контроля природной среды веществ, материалов и изделий, 2014: С. 12-26.
- 3 Y.Murashige, M.Tashiro, T.Nakajyo, T.Koizumi, I.Karlazawa, F.Komori, Y.Ito, Appl. Surf. Sci. 113—114(1997)1 69.
- 4 M.Alatalo, B.Barbiellini, M.Hakala. et al. Theoretical and experimental study of positron annihilation with core electrons in solids [J]. Phys. Rev. B, 1996. 54(4): 2397.
- 5 P.G.Coleman, C.P.Burrows, R.Mahapatra, et al. Vacance-type defects in $TiO_2/SiO_2/SiC$ dielectric stacks [J]. J. Appl. Phys., 2007. 102(1): 014106.
- 6 J.Kurplach, M.Sob, G.Brauer, et al. Positron affinity in semiconductors: Theoretical and experimental studies [J]. Phys. Rev. B, 1999. 59(3): 1948.
- 7 M.J.Puska, R.M.Nieminen. Theory of positrons in solids and on solid surfaces [J]. Rev. Modern Phys. 1994, 66(3): 841.
- 8 H.Takenaka, D.J.Singh. Positron potential and wave function in $LaFeAsO$ [J]. Phys. Rev. B, 2008. 77(15): 155132.
- 9 滕敏康. 正电子谱学及其应用[M]. 北京:原子能出版社, 2000. (Дэн Минкан. Применение позитронной спектроскопии [М]. Пекин: издательство АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, 2000.)
- 10 Ch. K. Kwan, et. al. Bull. Am. Phys. Soc., 1984, 29-803
- 11 J. Pirenne. Arch. Sci. Phys. Nat., 1946, 28:233
- 12 A. Ore, J. L. Powell. Phys. Rev., 1949, 75:1696
- 13 沈世瑜. 聚合物 PNNA 和 Epoxy 中正电子素的磁猝灭 [J]. 化学物理学报, 1993, 32(2): 139-142. (Шень Шию. Магнитное гашение позитрония в полимерах PNNA и Epoxy [J]. Журнал Химии и Физики, 1993, 32(2):

- 139-142.)
- 14 郁伟中. 正电子湮没中的磁淬灭理论 [J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2001, 17(4): 14-17. (Юй Уыцзун. Теория магнитного гашения при аннигиляции позитронов [J]. Журнал Естественных Наук Харбинского Педагогического Университета, 2001, 17(4): 14-17.)
- 15 林后松. 正电子素化学的进展 [J]. 化学通报, 1986, (07):1-6. (Лин Хунсунь. Развитие химии позитрония. [J]. Химия, 1986, 1986, (07): 1-6.)
- 16 张曼维, 孙群, 张志成. 分子介质中的正电子素化学——云团中顺磁性粒子对 o-Ps 寿命的影响 [J].核技术, 1985, (08): 48-49. (Чжан Манвей, Сунь Цюнь, Чжан Чжичэн. Химия позитрония в среды молекул – влияние парамагнитных частиц на время жизни o-Ps. [J]. Ядерная Технология, 1985, (08): 48-49.)
- 17 王君君. 聚合物微结构与性能的正电子研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2011. (Ван ЦзюньЦзюнь. Исследование микроструктуры и свойств полимеров позитронным зондом [D]. Ухань: Уханьский университет, 2011.)
- 18 王少阶等. 应用正电子谱学 [M]. 武汉:湖北科学技术出版社, 2008. (Ван Шаоцзе и т.д.. Прикладная позитронная спектроскопия [M]. Ухань: Издательства Науки и Технологии провинции Хубэй, 2008.)
- 19 Tao S.J. [J]. Phys. Chem., 1972. 56: 5499
- 20 Eldrup M., Lightbody D., Sherwood J.N. Chem. Phys., 1981. 63:51
- 21 Wang C.L., Wang S.J. Phys. Rev., 1995. B51: 8810
- 22 Lou Y., Rhee Y., Yen H.L. et al. [J]. Radi. & Nucl. Chem., 1996. 211 ^85
- 23 Jean Y.C., Shi H., Pai G.H. et al. Mater. Sci. Forum, 1995. 175 -178:691
- 24 Kirkegaard P., Eldrup M., Mogensen O. et al. Comp. Phys. Comm., 1981. 23:307
- 25 Provencher S.W. Comp. Phys. Comm., 1982. 27:229

- 26 Gregory R.B., Nucl. Instr. & Meth., 1991. A302:496
- 27 Tang Z, Wang S.J. Nucl. Instr. & Meth., 1995. A355:548
- 28 王仕木. HPGe γ 谱谱分析有关方法的研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2014. (Ван Шиму. Исследования методов анализа спектра γ -квантов из ОЧГ [D]. Чэнду: Чэндуский политехнический университет, 2014.)
- 29 庞巨丰. γ 能谱数据分析 [M]. 西安:陕西科学技术出版社, 2008. (Пан Юфэн. Анализ данных спектра γ -квантов [M]. Сиань: Издательства Науки и Технологии провинции Шэньси, 2008.)
- 30 Mills A P Jr. Positronium molecule production, Bose-Einstein condensation and stimulated annihilation [J]. Nuclear Instruments Methods in Physics Research B, 2002,192: 107-116.
- 31 Lynn K. G., Goland A. N.. Observation of high momentum tails of positron-annihilation lineshapes [J]. Solid State Communication, 1976, 18: 1549-1552.
- 32 Lynn K. G., MacDonald J. R., Boie R. A., et al. Positron-annihilation momentum profiles in aluminum: core contribution and the independent-particle model [J]. Physical Review Letters, 1977, 38: 241-244.
- 33 温新竹. 单通道符合正电子湮没多普勒展宽实验技术[J].装备制造技, 2014, (08): 269-270. (Вэнь Хсинчу. экспериментальная технология одноканального совпадения доплеровского уширения позитронной аннигиляции [J]. Технология Производства Оборудования, , 2014, (08): 269-270.)
- 34 P. Asoka-Kumar, M. Alatalo, V. J. Ghosh, et al. Increased Elemental Specificity of Positron Annihilation Spectra. Phys. Rev. Lett. 1996. 77: 2097.
- 35 S. Szpala, P.Asoka-Kumar, B. Nielsen, et al, Defect identification using the core-electron contribution in Doppler-broadening spectroscopy of positron-annihilation radiation. Phys. Rev. B. 1996. 54: 4722.
- 36 Abstracts of 12th International Conference on Positron Annihilation, Aug.

2000

- 37 郁伟中. 正电子物理及其应用. 北京: 科学出版社.2003. 1-16 (Юй Уыцзун. Физика позитронов и её применение. Пекин: Издательство Науки.2003. 1-16)
- 38 H. Stoll, M. Koch, U. Lautff, et al. Annihilation of incompletely thermalized positronium studied by age-momentum correlation. Appl. Surf. Sci, 1995. 85:17
- 39 Mogensen O. E. Positron Annihilation in Chemistry [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1995.
- 40 Manti S., Triftshäuser W. Defect annealing studies on metals by positron annihilation and electrical resistivity measurements [J]. Physical Review B, 1978, 17: 1645-1652.
- 41 Liskay L. C., Corbel C. Baroux L., et al. Positron trapping at divacancies in thin polycrystalline CdTe films deposited on glass [J]. Applied Physics Letters, 1994, 64: 1380-1382.
- 42 Clement M., de Nijs. J. M. M., Balk P, et al. Analysis of positron beam data by the combined use of the shape-and wing-parameters [J]. Journal of Applied Physics, 1996, 79: 9029-9036..
- 43 周春兰, 张天保, 马创新, 张志明等 [J]. 高能物理与核物理, 2006, 30(1): 84-87. (Чжоу Чунлан, Чжан Тяньбао, Ма Чжуансин, Чжан Чжимин и т.д. [J]. Физика Высокой Энергии и Ядерная Физика, 2006, 30(1): 84-87..)
- 44 J. R. Stevens. Methods of exp. Phys., 1980, 19:371
- 45 顾庆超, 徐炜政, 夏波, 尹传元. PMMA 中的正电子湮没和玻璃化转变[J]. 高分子材料科学与工程, 1993, (3): 129-131. (Гу Цинчао, Сюй Вэйчэн, Ся Бо, Инь Чуанюань. Стекланный переход и аннигиляции позитрониев в PMMA [J]. Наука и Инжиниринг Полимерных Материалов, 1993, (3): 129-131.)
- 46 王波, 李世清, 王未林, 王少阶. 正电子湮没技术在聚合物材料科学研

- 究中的应用 [J]. 核物理动态, 1993, 10(1): 34-38. (Ван Бо, Ли Шицин, Ван Вэйлинь, Ван Шаоцзе. Применение технологии позитронной аннигиляции для исследования науки полимерных материалов [J]. Обзор Ядерной Физики, 1993, 10(1): 34-38.)
- 47 S. Y. Chang, S. J. Tao. J. Appl. Phys., 1972, 43(2):2.
- 48 史子康. 用正电子湮没寿命谱学法研究聚四氟乙烯改性和结晶度关系 [J]. 应用科学学报, 1994, 12(4): 354-360. (Ши Цикан. Исследование влияния модификации ПВДФ на степень кристаллизацию спектром времени жизни позитронов [J]. Журнал Прикладной Науки, 1994, 12(4): 354-360.)
- 49 J. R. Stevens. Phys. Rev. Lett., 1972. 29:166.
- 50 贾少晋, 张志成, 范扬眉, 张宪峰, 韩荣典. 2γ 辐照对 PE 的正电子湮灭特性影响 [J]. 高分子材料科学与工程, 2003, 19(2): 164-167. (Цзя Шаоцзинь, Чжан Чжичэн, Фан Янмэй, Чжан Сианьфэн, Хань Рундянь. влияние 2γ облучения на характеристики аннигиляции позитронов в PE [J]. Наука и Инжиниринг Полимерных Материалов, 2003, 19(2): 164-167.)
- 51 Jerzy Dryzek, Dong Singleton. Implantation profile and linear absorption coefficients for positrons injected in solids from radioactive sources ^{22}Na and $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. B 252(2006) 197-204
- 52 J. Dryzek, E. Dryzek. Measurement of backscattering coefficient of positron using the characteristic X-rays. Physics Letters. A 320(2003) 238-241
- 53 В.И. Беспалов. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом. Учебное пособие; Томский политехнический университет. – 5-е изд., доп.- Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. -427с

- 54 P. Kirkegaard, N.J. Pedersen, and M. Eldrup. PATFIT-88: A Data-Processing System for positron Annihilation Spectra on Mainframe and personal Computers. Risø National Laboratory, Denmark. 1989: 5-100.
- 55 Karsy J. Microcomputer program for analysis of positron annihilation lifetime spectra [J]. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, 1996, 374(2): 235-244.
- 56 郁伟中, 孙翼展. 用 CONTIN(PALS2)程序计算正电子湮没寿命谱. 核技术. 2000, 23(6): 411-417.
- 57 Dlubek G., Eichler S. Do MELT or CONTIN Programs Accurately Reveal the o-Ps Lifetime Distribution in Polymers? Analysis of Simulated Lifetime Spectra [J]. Physica Status Solidi, 2015, 168(2): 333-350.
- 58 Shukla A, Peter M, Hoffmann L. Analysis of positron lifetime spectra using quantified maximum entropy and a general linear filter [J]. Nuclear Instrument & Methods A, 1993, 335: 310-317.
- 59 Keriem M S A E. Effect of Low Gamma-Irradiated dose on the Structure of Cellulose Triacetate Films: II. Positron Annihilation Spectroscopy [J]. American Journal of Polymer Science, 2015, 5(2): 35-40
- 60 Misheva, M.A., 2009, In Controlling of Degradation Effects in Radiation Processing of Polymers, IAEA-TECDOC-1617, p. 41.
- 61 Suzuki, T., Ito, Y., Kondo, K., Hamada, E., Ito, Y., 1999, In Sixth International Workshop on Positron and Positronium Chemistry (PPC-6), Tsukuba, Japan, June, 7-11.
- 62 Zhou X, Zhai L, Jiangfeng D U, et al. Free Volume Changes in γ -Irradiated Polyethylene and Polytetrafluorethylene [J]. Journal of Materials Science & Technology, 2000, 16(3): 302-304.
- 63 Jassim K. S., Abdullah A. A., Al-Bayati A. A.. Free Volume Properties of Beta-Irradiated High-Density Polyethylene (HDPE) Studied by Positron Method [J]. American Journal of Scientific Research, 2012, 52:33-41.

Introduction

In 1930, when searching for the solution of the equation on free electrons on the basis of the theory of relativity, the English physicist Dirac predicted the existence of the positron. In 1932, the American physicist Anderson discovered the positron in the study of cosmic rays. Today, positron spectroscopy as a new nuclear technology is widely used in the field of material science. One of the most popular research areas around the world is the study of positron spectroscopy of the microstructure of high-molecular polymer. Despite the fact that high-molecular science has been developing for half a century, studies on the structure of high-molecular chains (conformation, branching and cross-linking of chains), the structure of the condensed state (crystalline state, amorphous state and multiphase system), the surface structure of the polymer and the connection of such structures with the macroscopic physicochemical properties of the polymer still have not lost their relevance. As the antiparticle of the electron and a microprobe, positron spectroscopy differs from other experimental technologies with significant advantages in detection of the microstructure of high-molecular polymers, nanoscale micropores, the transformation of the structure and properties of the surface, and also in the analysis of the compatibility of mixed polymers.

Experimental studies have shown that most physical properties of high-molecular polymers, like mechanical properties, viscosity, vitrification and relaxation, are associated with free volumes with atomic size. The free volume is an intrinsic defect in a high-molecular polymer, from the point of view of molecular motion, it is a necessary space for the motion of the molecular chain; structurally, it is chaotic vacancy, distributed between the molecular chains. Due to the close connection between free volumes and transport properties of molecular chains, which in turn affect many macroscopic properties of high-molecular polymers, an important role is played by the detection of nanoscale micropores and free volumes with atomic size. Positron spectroscopy based on nuclear technology provides information on the size, quantity and distribution of free volumes. In

addition, one of the advantages of this method is the low degree of destructive effect on the materials being studied [1].

In high-molecular polymers positrons not only directly annihilate with electrons, but also form a metastable state "positronium" with electrons, followed by annihilation. Due to the fact that the positronium size is only 1.06 Å and most o-Ps are formed in free volumes with subsequent annihilation, measurement of annihilation o-Ps parameters allows obtaining information on the microstructure of high-molecular materials, while the lifetime and intensity show the size and quantities of the free volume, respectively [1].

According to the principle of quantum mechanics, the Tao and Eldrup scientists obtained a relation between the radius of a spherical free volume and the lifetime of O-Ps [2, 3]:

$$\tau = \tau_0 \left[1 - \frac{R}{R+\Delta R} + \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi R}{R+\Delta R}\right) \right]^{-1}, \quad (1)$$

where τ – lifetime of o-Ps in free volume;

τ_0 – the lifetime of o-Ps in the electron layer surrounding the free volume;

R – the radius of the spherical free volume;

ΔR – thickness of the electron layer formed on external electrons of free volume, on which annihilation of o-Ps occurs.

Based on the lifetime of O-Ps obtained by positron spectroscopy, it is possible to determine the average size of the free volume in high-molecular materials. Measurement of the dependence of the lifetime of O-Ps on temperature makes it possible to determine the most important properties of high-molecular polymers – vitrification and structural relaxation. Compared with the differential thermal analysis used in chemical science, this method of determining the transformation of structure is more efficient and allows obtain the dependence of the change of the free volume on temperature and also makes it possible to determine the state of motion of molecular chains at different temperatures.

The purpose of this work is investigation of the influence of helium ions on the microstructure of a polyvinylidene fluoride (PVDF) film in order to increase the

proton conductivity of PVDF.

To achieve this purpose, it was necessary to solve the following tasks:

- Study of structural features of high-molecular polymers;
- Elucidation of the mechanism of proton transfer in proton-conducting membranes;
- Design of a model for conducting experiments;
- Investigation of the effect of α particle beam on free volumes in PVDF.

1. Application of the technology of positron annihilation

1.1 Investigation of the glass transition of polymers

For non-crystalline state polymers with a linear structure, the glass transition temperature T_g is characteristic. At temperatures below T_g , the polymers exhibit a glassy state, while at a temperature higher than T_g , the polymers exhibit a highly plastic state, which leads to a jump in the value of the long positron lifetime component. In comparison with other methods, the measured temperature T_g by the positron annihilation method is lower by 10°C. This means that at the time of glass transition of polymers, the microstructure changes before the macroscopic properties change. Stevens measured the glass transition temperature of polystyrene, which was obtained using the method of time distribution of positron annihilation (TDPA) and is approximately 90°C. Figure 1 shows the change in the long positron lifetime component in polystyrene as a function of temperature [4, 5, 6].

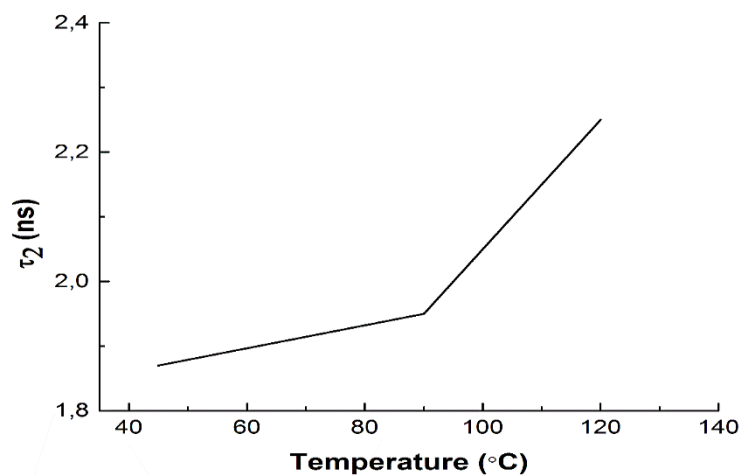


Figure 1 - The lifetime τ_2 of positrons in polystyrene as a function of temperature [4].

S. Y. Chang [7] measured the glass transition of dry and wet nylons 6, the measurement results are shown in Figure 2. The measured glass transition temperatures of dry and wet nylons 6 are 50°C and 33°C, respectively. At a temperature above T_g , branched chains around the main axis of the polymer begin to move, which affords a larger free volume for positronium. As a result, the corresponding value of the lifetime increases, whereas at that time no noticeable change is observed in the macroscopic properties.

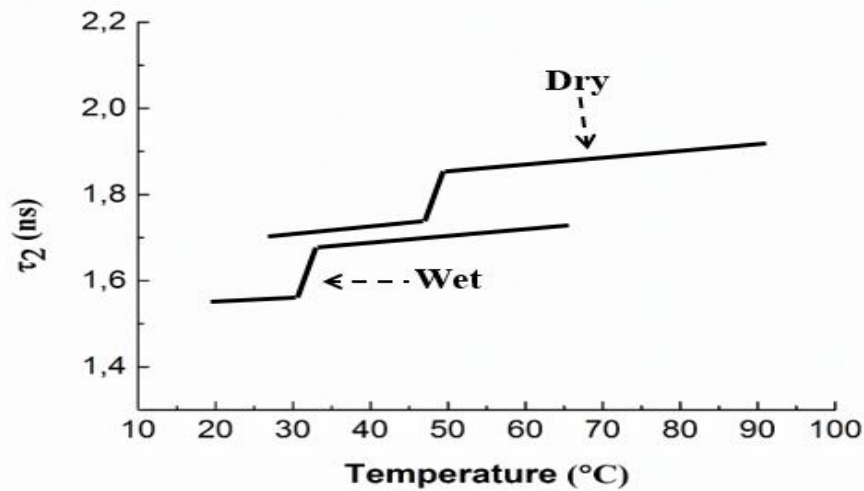


Figure 2 – The lifetime of τ_2 in dry and wet nylons 6 as a function of temperature [7].

1.2 Investigation of the phase transition of polymers

The phase transition of polymers is accompanied by a noticeable change in the microstructure, which causes a jump in the long positrons lifetime component. Figure 3 shows the curve of the lifetime of positrons in polytetrafluoroethylene (PTFE). At a temperature close to 1.25 K, the long positrons lifetime component τ_2 undergoes a jump, and there is also a change in the slope of the specific heat of PTFE. As a result of which it is assumed that at a temperature close to 1.25 K there is one phase transition precision [4, 8].

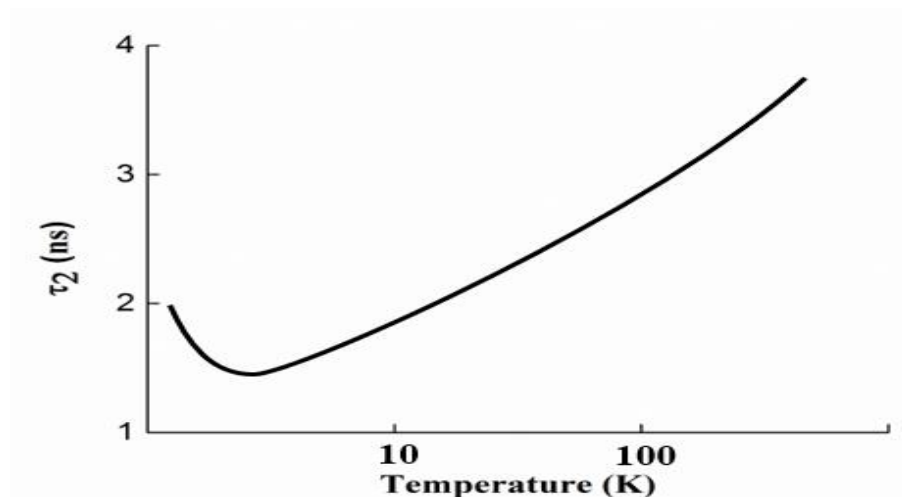


Figure 3 - The lifetime of τ_2 in PTFE as a function of temperature [4].

1.3 Investigation of the degree of crystallization of polymers with the crystalline state

Due to the long molecular chains all polymers with crystalline state cannot be fully crystallized. In polymers with crystalline state the lifetime of positrons in the crystalline region and in the non-crystalline region is different. The lifetime of positrons in the crystal region corresponds to the component of the second longest positron lifetime (τ_2 , I_2), whereas the positron lifetime in the non-crystalline region corresponds to the component of the longest positron lifetime (τ_3 , I_3). By the ratio of the components of two lifetimes, one can obtain the degree of crystallization of the polymers with crystalline state [9, 10].

1.4 Investigation of the effect of γ irradiation on the microstructure of polymers.

The results of the study show that γ irradiation with low dose leads to an increase in the volume of defects (micropores) of polymers and γ irradiation with high dose allows to increase the degree of crystallization of polymers. As a result, the intensity of the long positron lifetime component decreases accordingly [4, 11].

2. Investigation of the properties of radiation-chemically modified PVDF films

One of the modern methods of synthesizing functional polymeric materials

used as active components in a variety of physicochemical processes is radiation-induced grafting copolymerization. This method is actively used to produce polymeric membranes with sulfonic acid groups, which are used as solid electrolytes for low-temperature fuel cells. First of all, the investigation of the effect of pure irradiation on the properties of polymers occupy a very important position. Therefore, the paper presents an investigation of the effect of α particle irradiation on the properties of a PVDF polymer.

As the polymer matrix, F-2M (PVDF) films with a thickness of 20 μm produced by "Fluoropolymer" (St. Petersburg) were used. The P-7M FTI TPU accelerator was used as a source of ionizing radiation on an helium ion beam of 27 MeV discharged into the air.

To interpret the obtained data, it is necessary to know the absorbed dose of the samples, as well as the particle fluence.

Calculation of the fluence of α particles

When the samples were irradiated, the current density of the α -particle beam was $0.05 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. The irradiation time varied from 0.5 to 2.5 min.

If the irradiation time is 0.5 min, then the total ion charge:

$$N = j * t = 0,05 * 10^{-6} * 30 = 0,15 * 10^{-5} \text{ Kul},$$

Where j – the current density, t – the irradiation time.

Charge of α particles:

$$Q = 2 * 1,6 * 10^{-19} = 3,2 * 10^{-19} \text{ Kul},$$

The number of particles that fell by 1 cm^2 in 0.5 min:

$$N/Q = 0,15 * 10^{-5} / 3,2 * 10^{-19} = 0,4687 * 10^{13} \text{ ions}/\text{cm}^2.$$

Table 1 presents the results of calculating the fluence of α particles at different irradiation times.

Table 1 - Fluence of α particles.

Time of irradiation, min	Fluence, $10^{13} \text{ ions}/\text{cm}^2$
0,5	0,4687
1	0,9375
1,5	1,4062

2	1,875
2,5	1,25

In order to increase the number of annihilation positrons in PVDF, the structure «source e^+ + PVDF (first layer) + metal (second layer) » is accepted, while on the first layer there are 5 overlapped PVDF films, in addition, lead is used as the metal on second layer, which has a large backscattering coefficient.

List of references

- 1 Jean Y.C. Microchemical [J]., 1990. 42:72
- 2 Tao S.J. [J]. Phys. Chem., 1972. 56: 5499
- 3 Eldrup M., Lightbody D., Sherwood J.N. Chem. Phys., 1981. 63:51
- 4 滕敏康. 正电子谱学及其应用[M]. 北京:原子能出版社, 2000. (Дэн Минкан. Применение позитронной спектроскопии [М]. Пекин: издательство АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, 2000.)
- 5 顾庆超, 徐炜政, 夏波, 尹传元. PMMA 中的正电子湮没和玻璃化转变[J]. 高分子材料科学与工程, 1993, (3): 129-131. (Гу Цинчао, Сюй Вэйчэн, Ся Бо, Инь Чуанюань. Стекланный переход и аннигиляции позитрониев в PMMA [J]. Наука и Инжиниринг Полимерных Материалов, 1993, (3): 129-131.)
- 6 王波, 李世清, 王未林, 王少阶. 正电子湮没技术在聚合物材料科学研究中的应用 [J]. 核物理动态, 1993, 10(1): 34-38. (Ван Бо, Ли Шицин, Ван Вэйлинь, Ван Шаоцзе. Применение технологии позитронной аннигиляции для исследования науки полимерных материалов [J]. Обзор Ядерной Физики, 1993, 10(1): 34-38.)
- 7 S. Y. Chang, S. J. Tao. J. Appl. Phys., 1972, 43(2):2.
- 8 王君君. 聚合物微结构与性能的正电子研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2011. (Ван ЦзюньЦзюнь. Исследование микроструктуры и свойств полимеров позитронным зондом [D]. Ухань: Уханьский университет, 2011.)
- 9 史子康. 用正电子湮没寿命谱学法研究聚四氟乙烯改性和结晶度关系

- [J]. 应用科学学报, 1994, 12(4): 354-360. (Ши Цикан. Исследование влияния модификации ПВДФ на степень кристаллизацию спектром времени жизни позитронов [J]. Журнал Прикладной Науки, 1994, 12(4): 354-360.)
- 10 J. R. Stevens. Phys. Rev. Lett., 1972. 29:166.
- 11 贾少晋, 张志成, 范扬眉, 张宪峰, 韩荣典. 2γ 辐照对 PE 的正电子湮灭特性影响 [J]. 高分子材料科学与工程, 2003, 19(2): 164-167. (Цзя Шаоцзинь, Чжан Чжичэн, Фан Янмэй, Чжан Сианьфэн, Хань Рундянь. влияние 2γ облучения на характеристики аннигиляции позитронов в PE [J]. Наука и Инжиниринг Полимерных Материалов, 2003, 19(2): 164-167.)

Приложение В

```
E1=input('Энергия позитронов, подающих на поверхность: МэВ, E1=');
N=input('число видов атомов: N=');
Z11=input('Атомное число первого компонента: Z11=');
Z12=input('Атомное число второго компонента: Z12=');
Z13=input('Атомное число третьего компонента: Z13=');
Z14=input('Атомное число четвертого компонента: Z14=');
Z15=input('Атомное число пятого компонента: Z15=');
N11=input('число атомов первого компонента в молекулярной формуле:
N11=');
N12=input('число атомов второго компонента в молекулярной формуле:
N12=');
N13=input('число атомов третьего компонента в молекулярной формуле:
N13=');
N14=input('число атомов четвертого компонента в молекулярной формуле:
N14=');
N15=input('число атомов пятого компонента в молекулярной формуле:
N15=');
A11=input('Атомная масса первого компонента: а.е.м, A11=');
A12=input('Атомная масса второго компонента: а.е.м, A12=');
A13=input('Атомная масса третьего компонента: а.е.м, A13=');
A14=input('Атомная масса четвертого компонента: а.е.м, A14=');
A15=input('Атомная масса пятого компонента: а.е.м, A15=');
I11=input('энергия ионизации первого компонента: эв, I11=');
I12=input('энергия ионизации второго компонента: эв, I12=');
I13=input('энергия ионизации третьего компонента: эв, I13=');
I14=input('энергия ионизации четвертого компонента: эв, I14=');
I15=input('энергия ионизации пятого компонента: эв, I15=');
Ro=input('плотность вещества: г/см^3, Ro=');
```

```

c=2.99792458*10^8*100;
me=9.1/10^31*1000;
NA=6.022*10^23;
re=2.8179403267/10^13;
E0=me*c^2;
v1=c*(1-(me*c^2/(E1*10^6*1.6/10^19*10^7+E0))^2)^0.5;
beta1=v1/c;
Z=[Z11,Z12,Z13,Z14,Z15];
A=[A11,A12,A13,A14,A15];
I=[I11,I12,I13,I14,I15];
N1=[N11,N12,N13,N14,N15];
keci=(E1*10^6*1.6/10^19*10^7)/(me*c^2);
F=2*log(2)-beta1^2/12*(23+14/(keci+2)+10/(keci+2)^2+4/(keci+2)^3);
for i=1:N
    x=log(7.52*10^6*(E1*10^6*1.6/10^19*10^7)*6.25*10^11/10^9/Z(i)^2);
    if x<=-8
        yita=0;
    elseif -8<x&& x<9
        yita=0.5+1/3.14*atan(0.415*x+0.0021*x^3+0.00054*x^5);
    elseif x>=9
        yita=1;
    end;
    dE1dx11=2*3.14*re^2*me*c^2/beta1^2*NA*Z(i)/A(i)*(log(beta1^2/(1-beta1^2)*
    keci/(2*(I(i)*1.6/10^19*10^7/(me*c^2))^2))+F);
    if E1>0.35588
        dE1dx12=3.44/10^4*Z(i)*(Z(i)+1)/A(i)*E1*(4*log(E1/0.255)-4/3)*yita;
    else
        dE1dx12=16/3*3.44/10^4*Z(i)*(Z(i)+1)/A(i)*E1*yita;
    end;
end;

```

```

dE1dx1(i)=dE1dx11*6.25*10^11/10^6+dE1dx12;
end
N2=N11;
for i=2:N
    N2=N2+N1(i);
end
dE1dx=N11/N2*dE1dx1(1)*Ro/10^4;
for i=2:N
    dE1dx=dE1dx+N1(i)/N2*dE1dx1(i)*Ro/10^4;
end
dE1dx

```